

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Dominik Gjuretek

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof.dr.sc. Zoran Kožuh

Student:

Dominik Gjuretek

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Dominik Gjuretek

ZAHVALA

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr.sc Zoranu Kožuhu na ukazanom povjerenju i pružanju pomoći tijekom izrade završnog rada.

Zahvaljujem se doc. dr. sc Ivici Garašiću i dr. sc Matiji Bušiću na savjetima i primjedbama koje su oblikovale ovaj rad.

Zahvaljujem se obitelji na potpori i strpljivosti tijekom studiranja.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **DOMINIK GJURETEK**

Mat. br.: 0035186421

Naslov rada na
hrvatskom jeziku: **GREŠKE KOD MAG ZAVARIVANJA**

Naslov rada na
engleskom jeziku: **DEFECTS IN MAG WELDING**

Opis zadatka:

Proučiti greške koje se javljaju u zoni zavarenog spoja obzirom na postupak zavarivanja. Napraviti klasifikaciju grešaka prema načinu i mjestu pojavljivanja. Opisati moguće načine nastanka grešaka. Opisati općenito moguće načine sprječavanja pojave grešaka u zoni zavarenog spoja.

U eksperimentalnom dijelu rada na postojećim uzrocima zavarenim MAG postupkom zavarivanja provesti prikladna ispitivanja, detektirati i klasificirati eventualne greške te opisati moguće načine nastanka kao i mjere sprečavanja pojave grešaka za zavarene spojeve izvedene MAG postupkom zavarivanja.

Zadatak zadan:
17. studenog 2014.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Zoran Kožuh

Rok predaje rada:
1. rok: 26. veljače 2015.
2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.
2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zoran Kunica

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	I
POPIS SLIKA.....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA.....	V
POPIS KRATICA.....	VI
SAŽETAK RADA.....	VII
1. UVOD.....	1
2. POSTUPAK.....	2
2.1 Opis postupka.....	2
2.2 Oprema.....	3
2.2.1 Izvor struje.....	3
2.2.2 Pištolj za zavarivanje.....	4
2.2.3 Uređaj za dodavanje materijala.....	4
2.2.4 Dodatni materijal – žice za MAG zavarivanje.....	5
2.3 Parametri zavarivanja.....	5
2.4 Primjena MAG postupka.....	6
2.4.1 Materijali koji se zavaruju.....	6
2.4.2 Primjena u industriji.....	6
2.4.3 Robotizacija postupka.....	7
2.5 Prednosti i nedostaci postupka.....	7
3. Nepravilnosti (greške).....	8
3.1 Pukotine (Skupina 100).....	9
3.1.1 Tople pukotine.....	10
3.1.2 Hladne pukotine.....	12
3.1.3 Izbjegavanje nastanka pukotina.....	14
3.2 Šupljine – poroznost (Skupina 200).....	15
3.2.1 Utjecaj poroznosti na čvrstoću zavarenog spoja.....	17
3.2.2 Uzroci i izbjegavanje nastanka poroznosti.....	18
3.3 Čvrsti uključci (Skupina 300).....	18
3.3.1 Utjecaj čvrstih uključaka na čvrstoću zavarenog spoja.....	21
3.3.2 Izbjegavanje nastajanja uključaka u zavaru.....	21
3.4 Naljepljivanje i nedovoljni provar (Skupina 400).....	22
3.4.1 Uzroci naljepljivanja.....	22
3.4.2 Uzroci nedovoljnog provara.....	24
3.4.3 Utjecaj naljepljivanja i nedovoljnog provara na čvrstoću zavarenog spoja.....	25
3.4.4 Izbjegavanje pogrešaka naljepljivanja i nedovoljnog provara.....	25

3.5	Pogreške oblika zavora (Skupina 500).....	26
3.5.1	Ugorine uz zavar (501).....	28
3.5.2	Skupina pogrešaka (502-507 i 512).....	29
3.5.3	Posmaknutost u sučeljavanju stijenki i odsupanje od pravca (507 i 508).....	30
3.5.4	Uleknuće površine zavora, prenizak zavar i uvučen korijen zavora.....	30
3.5.5	Nepravilan izgled zavora.....	31
3.6	Ostale pogreške (Skupina 600).....	32
3.6.1	Oštećenja električnim lukom (601).....	32
3.6.2	Onečišćenja kapljicama metala (602).....	33
3.6.3	Mehanička oštećenja površine materijala (603, 604, 605, 606)	33
3.6.4	Podbrušenje.....	33
4.	Eksperimentalni dio.....	34
5.	Zaključak.....	42
6.	Literatura.....	43

POPIS SLIKA

Slika 1.	Shema elektrolučnog zavarivanja taljivom metalnom elektrodom u zaštitnoj atmosferi s aktivnim plinovima (CO ₂ i mješavine)	2
Slika 2.	MIG/MAG uređaj tvrtke Fronious	3
Slika 3.	Pištolj za zavarivanje (Push)	4
Slika 4.	Dodavač žice s 4 kotačića	5
Slika 5.	Shematski prikaz mehanizma nastajanja toplih pukotina	11
Slika 6.	Topla pukotina na licu zavara	11
Slika 7.	Nevidljiva unutarnja topla pukotina	12
Slika 8.	Sučeljeni spoj: hladna pukotina u ZUT-u	13
Slika 9.	Kutni kružni spoj: pukotina	13
Slika 10.	Poroznost u kutnom spoju	17
Slika 11.	Poroznost u sučeljenom spoju	17
Slika 12.	Uključci troske kod MAG postupka zavarivanja	20
Slika 13.	Uključak troske kod MAG postupka zavarivanja praškom punjenom žicom	20
Slika 14.	Naljepljivanje u sučeljenom spoju.	23
Slika 15.	Naljepljivanje u kutnom spoju	23
Slika 16.	Razlika između dobro izvedenog i loše izvedenog kutnog zavara	24
Slika 17.	Neprovareni korijen zavara	24
Slika 18.	Ugorina između zavara i osnovnog materijala	28
Slika 19.	Uzorak 1	34
Slika 20.	Uzorak 2	35
Slika 21.	Uzorak 3	35
Slika 22.	Uzorak 4	36
Slika 23.	Uzorak 4	37
Slika 24.	Uzorak 5	38
Slika 25.	Uzorak 6	39
Slika 26.	Uzorak 7	40
Slika 27.	Uzorak 8	40

POPIS TABLICA

Tablica 1.	Pukotine u zavarenom spoju (HRN EN ISO 6520)	9
Tablica 2.	Šupljine (poroznosti) u zavarenom spoju (HRN EN ISO 6520)	15
Tablica 3.	Čvrsti uključci u zavarenom spoju (HRN EN ISO 6520)	19
Tablica 4.	Naljepljivanje i nedovoljni provar (HRN EN ISO 6520)	22
Tablica 5.	Pogreške oblika zavara (HRN EN ISO 6520)	26
Tablica 6.	Ostale pogreške (HRN EN ISO 6520)	32

POPIS OZNAKA

Oznaka	Opis	Mjerna jedinica
U	Napon zavarivanja	V
I	Jakost struje zavarivanja	A
d	Promjer žice	mm
v	Brzina zavarivanja	cm/min
L	Induktivitet	mH
Q	Protok zaštitnog plina	l/min

POPIS KRATICA

MIG	Zavarivanje taljivom žicom u zaštiti inertnog plina
MAG	Zavarivanje taljivom žicom u zaštiti aktivnog plina
TIG	Zavarivanje volframovom elektrodom u zaštiti inertnog plina
REL	Ručno elektrolučno zavarivanje
ZUT	Zona utjecaja topline
EPP	Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom pod zaštitom praška
ISO	International Organization for Standardization

SAŽETAK RADA

U završnom radu opisana je problematika pogrešaka koje se javljaju kod MAG postupka zavarivanja prema normi HRN EN ISO 6520 koja klasificira vrste pogrešaka.

U eksperimentalnom dijelu rada na postojećim uzorcima zavarenim MAG postupkom zavarivanja detektirane su, klasificirane i opisane greške te metode njihovog sprječavanja.

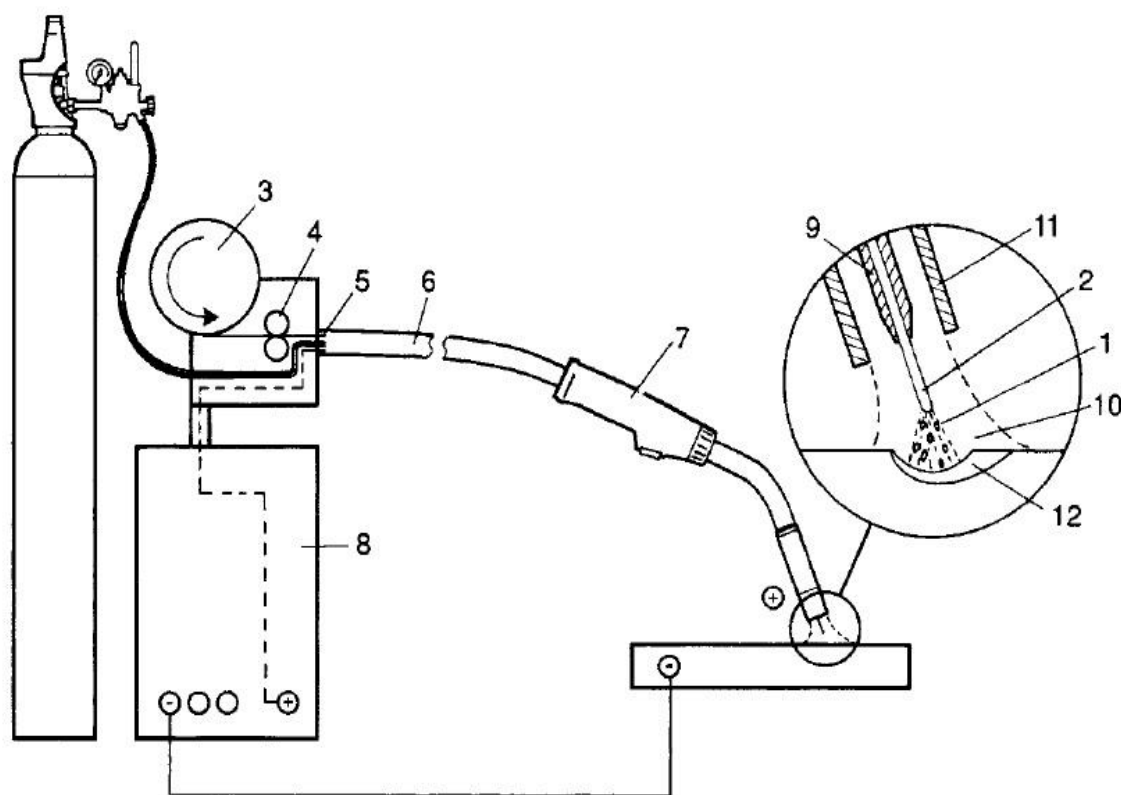
1. Uvod

Postupci zavarivanja u zaštitnim atmosferama pojavili su se u vremenu prije, a posebno, nakon drugog svjetskog rata. MIG postupak uspješno je razvijen 1948. godine na Institutu Batelle Memorial pod sponzorstvom tvrtke „Air Reduction“. U razvoju je umjesto netaljive volframove elektrode, korištena kontinuirano dovođena žica (taljiva elektoda) i inertna zaštitna atmosfera. Jedna od osnovnih prednosti koje su učinile postupak popularnijim i korisnijim je manji promjer elektrode i konstantni napon izvora napajanja. 1953. godine Lyubavskii i Novoshilov razvili su postupak, samo što je umjesto inertne atmosfere korištena aktivna atmosfera s CO₂ plinom (MAG postupak) koji je doživio široku primjenu u zavarivanju nelegiranih konstrukcijskih čelika. Danas je MIG/MAG vodeći postupak zavarivanja u većini industrijski razvijenih zemalja i njegov razvoj konstantno napreduje. U suvremenoj industriji gotovo nema proizvoda u kojem se ne nalazi zavareni spoj, međutim on nikada nije savršen i zbog svoje posebnosti može predstavljati relativno nesigurno mjesto u konstrukciji. U industrijskoj proizvodnji pojava pogrešaka u zavarenom spoju uzrokuje velike probleme. Nekvalitetnom izvedbom zavarivanja dolazi do zastoja u proizvodnji, kašnjenja u isporuci, smanjenja profitabilnosti. Popravci mogu uzrokovati trajne negativne posljedice na sposobnost konstrukcije. Zbog svega ovoga vrlo je važno za inženjera zavarivanja poznavanje pogrešaka u zavarenom spoju, uzroka nastajanja, metoda sprječavanja te saznanja o njihovoj dopustivosti u konstrukcijama.

2. Postupak

2.1 Opis postupka

Kod MAG postupka električni luk održava se između kontinuirane, taljive elektrode u obliku žice koja je u pravilu spojena na plus pol istosmjernog izvora struje. Proces se odvija u zaštitnoj atmosferi koju osiguravaju aktivni plinovi (CO_2 i mješavine).



Slika 1. Shema elektro-lučnog zavarivanja taljivom metalnom elektrodom u zaštitnoj atmosferi s aktivnim plinovima (CO_2 i mješavine) [1]

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1. Električni luk, | 7. Pištolj za zavarivanje |
| 2. Taljiva elektroda, | 8. Izvor struje |
| 3. Kolut sa dodatnim materijalom, | 9. Kontaktna cijevčica |
| 4. Pogonski valjci (kotačići), | 10. Zaštitna atmosfera |
| 5. Spojni ulaz, | 11. Sapravnica |
| 6. Cijevni paket (polikabel), | 12. Zavar |

Pogonski sustav konstantnom brzinom dodaje žicu kroz polikabel i pištolj u električni luk. Žica je istovremeno i elektroda i dodatni materijal. Žica se tali i na tom mjestu nastaje zavar. Zaštitni plinovi koji se koriste u postupku (CO_2 i mješavine) dovode se na mjesto zavarivanja kroz sapnicu na pištolju koja se nalazi oko kontaktne cjevčice. Ionizacijom plina osigurava se vodljivi prostor za održavanje električnog luka. [2]



Slika 2. MIG/MAG uređaj tvrtke Fronious [7]

2.2 Oprema

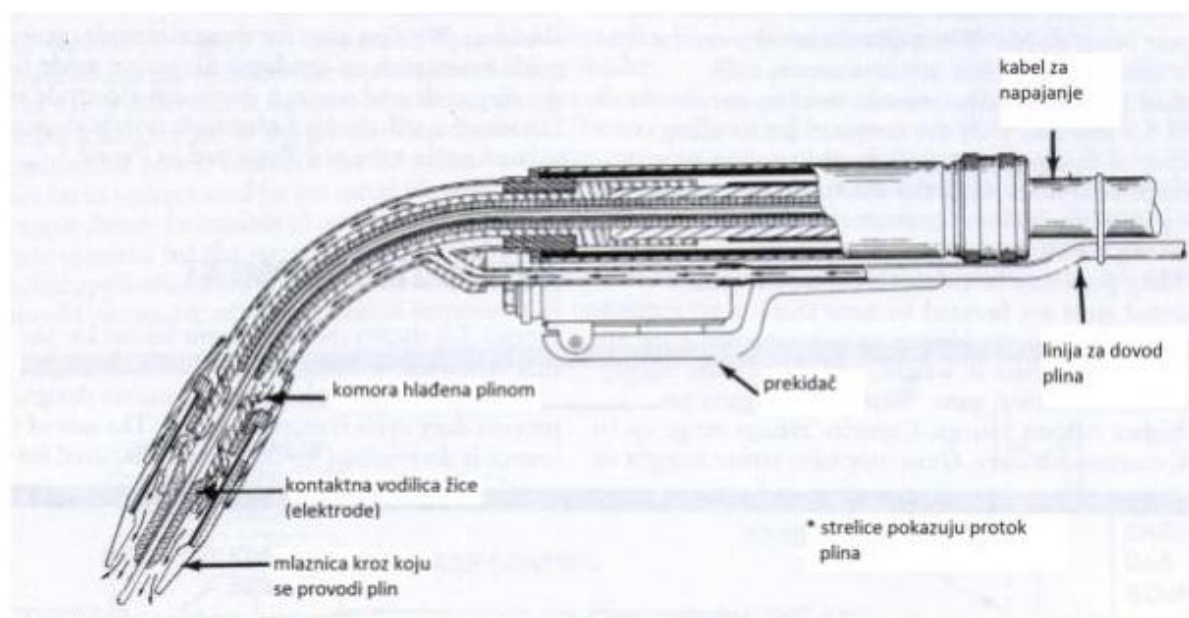
2.2.1 Izvor struje

MAG postupak zahtijeva priključak na mrežu konstantnog napona. Ovisno o proizvodnim kapacitetima, postoji nekoliko izvora struje s priključnim naponima od 460 V, 230 V, 115 V. Na izvoru struje namještamo neke od parametara kao što su napon, jakost struje, vrsta struje, itd. Ovisno o proizvođaču, neki izvori struje mogu imati brzinu žice kao parametar koji namještamo, u tom slučaju se ovisno o odabranoj brzini automatski povećava ili smanjuje jakost struje. Veći industrijski strojevi mogu još imati i kontrolu induktiviteta. [3]

2.2.2 Pištolj za zavarivanje

Pištolj za zavarivanje dovodi elektrodu, zaštitni plin i struju do električnog luka i važan je dio opreme. Konstruiran je da operateru pruža laganu i jednostavnu upotrebu. Pritiskom na prekidač elektroda konstantnom brzinom izlazi kroz kontaktnu cjevčicu i istovremeno se upuhuje zaštitni plin. Poželjno je da pištolj bude što manjih dimenzija, da se može raditi u uskim i skućenim prostorima. Postoje izvedbe pištolja sa zračnim hlađenjem i s vodenim hlađenjem. Izvedbe sa zračnim hlađenjem su zastupljenije kod nižih struja, dok se kod viših struja (300-600A) koristi vodeno hlađenje. Pištolji s vodenim hlađenjem su kompaktniji i manjih dimenzija od zračno hlađenih, ali je potreban modul za hlađenje i cirkulaciju vode koji se sastoji od: spremnika vode, pumpe i hladnjaka i taj modul obično je smješten u sklopu izvora struje. Dodatna podjela pištolja je na: Push i Push-pull izvedbu. Push-Pull izvedba sadrži dodatne vodilice za elektrodu koje su smještene u samom pištolju da bi se savladalo trenje pri zavarivanju na većim udaljenostima. Obično se ova izvedba koristi na udaljenostima većim od 5 m. [4].

Na slici 3. prikazan je pištolj za zavarivanje.

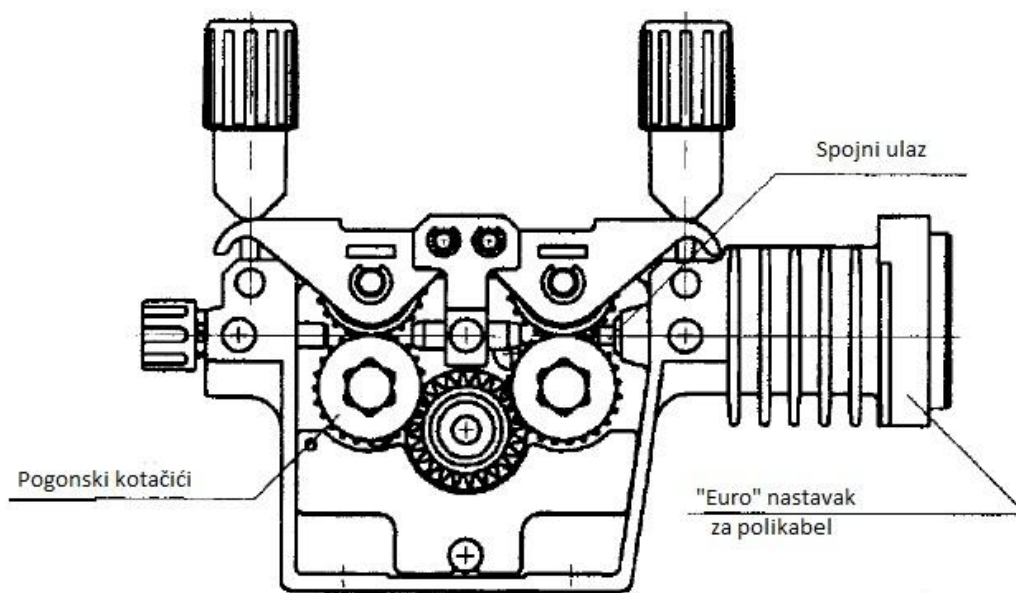


Slika 3. Pištolj za zavarivanje (Push) [4]

2.2.3 Uređaj za dodavanje dodatnog materijala

Sastoji se od: električnog motora, kotačića i ostalih dodataka koji poravnavaju žicu i drže adekvatan pritisak na žicu. Električni motor najčešće je istosmjerni i on omogućava potrebnu mehaničku energiju za provođenje žice kroz polikabel i pištolj. Kotačići mogu biti sa V utorom ili sa U utorom ovisno o vrsti dodatnog materijala.

Slika 4. prikazuje dodavač žice s 4 kotačića. [4]



Slika 4. Dodavač žice sa 4 kotačića [1]

2.2.4 Dodatni materijal - žice za MAG zavarivanje

Kod MAG zavarivanja najčešće se koriste pune žice promjera 0.6 do 2.4 mm. Žice od čeličnih materijala su pobakrene ili poniklane radi boljeg električnog kontakta i zaštite od korozije. Površina žice mora biti glatka, dimenzija vrlo točna i treba biti uredno namotana na kolutove koji se postavljaju u uređaj za dodavanje. Osim punih žica koriste se i praškom punjene žice. Takve žice mogu imati raznovrsne presjeke, ovisno o načinu proizvodnje. Praškom punjene žice koriste se uz plinsku zaštitu, a postoje žice koje same stvaraju zaštitnu atmosferu raspadanjem jezgre pa se ne zahtijeva dodatna zaštita plinom. [1]

2.3 Parametri zavarivanja

Parametri zavarivanja su one fizikalne veličine na koje možemo utjecati pri zavarivanju. Parametri zavarivanja imaju jako velik utjecaj na kvalitetu zavora i pojavu pogrešaka u zavoru, zato je potrebno odabrati optimalne parametre zavarivanja. Parametri zavarivanja biraju se redoslijedom. Prvo odaberemo promjer i vrstu žice na osnovu vrste i debljine materijala koji zavarujemo, nakon toga odabire se jakost struje i brzina dovođenja žice ovisno u vrsti električnog luka (načinu prijenosa metala u električnom luku). Nakon tako odabranih parametara izvodi se zavarivanje probnog uzorka, gdje se promatra stabilnost i visina električnog luka. Određivanjem parametara zavarivanja traže se optimalni parametri kojima dobijemo miran električni luk (s minimalnim prskanjem) i najveću kvalitetu zavora. [4]

Parametri zavarivanja kod MAG postupka su:

- 1) Jakost struje zavarivanja [A],
Utječe na količinu rastaljenog metala u jedinici vremena, dubinu protaljivanja, oblik zavara i količinu unesene topline.
- 2) Napon zavarivanja [V],
Napon električnog luka utječe na dubinu protaljivanja, širinu, nadvišenje zavara i poistovjećuje se sa duljinom luka.
- 3) Brzina zavarivanja [cm/min],
Utječe na penetraciju, širinu zavara i količinu unesene topline.
- 4) Vrsta i protok zaštitnog plina [l/min],
Štite rastaljeni metal od štetnog utjecaja okoline. Utjecaj zaštitnog plina odražava se na: električno-fizikalna svojstva električnog luka i time na prijenos metala s elektrode na radni komad, metalurške procese u talini zavara i tehnološke parametre.
- 5) Induktivitet [mH],
Za dobivanje optimalnih svojstava zavarivanja u skladu s promjerom žice.
- 6) Promjer žice [mm],
Određuje se prema debljini materijala i obliku spoja.
- 7) Duljina slobodnog kraja žice [mm],
Utječe na produktivnost, kroz povećanje i smanjenje brzine dovođenja.

2.4. Primjena MAG postupka

2.4.1 Materijali koji se zavaruju

U praksi se primjenjuje na nelegiranim konstrukcijskim čelicima, niskolegiranim i mikrolegiranim čelicima, visokolegiranim čelicima, nehrđajućim čelicima te aluminiju, bakru i njihovim legurama.

2.4.2 Primjena u industriji

Ovaj postupak ima veliku primjenu u brodogradnji, kotlogradnji, autoindustriji, prehrambenoj industriji izradi dizalica, izradi spremnika, kod izrade različitih reaktora, zavarivanju tračnih vozila, zavarivanju cijevi, itd. Primjena kod poluautomatskog, automatskog ili robotiziranog zavarivanja. Također je uspješna primjena kod zavarivanja tanjih i debelih limova u položenom ili prisilnom položaju.

2.4.3 Robotizacija postupka

S robotizacijom postupka zavarivanja dobivamo na produktivnosti i povećanje kvalitete zavora. Prije samog uvođenja robotizacije zavarivanja, moramo prvo napraviti analizu potencijalnih parametara, kao što su gabariti predmeta zavarivanja te minimizirati gabarite zavarivačke robotske stanice, dio kojeg su uz sam robot za zavarivanje još i zavarivački izvor s pripadajućom zavarivačkom opremom, robotsko upravljanje, pozicioneri te ostala sigurnosna oprema.

2.5 Prednosti i nedostaci postupka

Prednosti:

- Dovoljno širok spektar materijala za zavarivanje
- Zavarivanje u svim pozicijama uz odgovarajuće parametre
- Pogodan za pojedinačnu i masovnu proizvodnju
- Pogodan za automatizaciju i robotizaciju
- Zavarivanje bez zastoja zbog konstantnog dovoda žice
- Dobra penetracija
- Veće brzine zavarivanja u odnosu na TIG i REL postupak
- Puno veći depozit materijala u odnosu na TIG i REL postupak
- Potrebno manje iskustva kod operatera nego kod ostalih konvencionalnih postupaka
- Minimalno čišćenje nakon zavarivanja zbog odsutnosti troske

Nedostaci:

- Skuplja, kompleksnija i glomaznija oprema u odnosu na REL postupak
- Slabija primjena na teško dostupnim mjestima zbog veličine pištolja za zavarivanje
- Kvaliteta zavora ovisi o vještini zavarivača kod poluautomatskog zavarivanja
- Prilikom zavarivanja na otvorenim prostorima potreban zavarivački šator zbog utjecaja vremenskih prilika (vjetra) na raspršivanje plina
- Oslobađaju se štetni plinovi pa je u zatvorenim prostorima potreban sustav za odvod plinova
- Relativno visoka emisija toplinskog zračenja [1], [4]

3. Nepravilnosti (greške)

Moguće nepravilnosti koje se javljaju u zavarenom spoju dijele se na: konstrukcijske nepravilnosti, nepravilnosti povezane s procesom zavarivanja i metalurške nepravilnosti. Konstrukcijske nepravilnosti odnose se na odabir nepravilnog oblika zavarenog spoja za određenu primjenu i neželjene promjene u poprečnom presjeku spoja. [4]

Nepravilnosti povezane s procesom zavarivanja uključuju:

- Ugorine: oštre udubine uz zavar
- Uključine troske: nemetalne uključine zarobljene u metalu zavara ili između metala zavara i osnovnog materijala
- Porozitet: nastaje od zaostalog plina tijekom zavarivanja koji je ostao zarobljen prilikom skrućivanja u metalu zavara
- Preklop: ispruženje metala zavara iznad lica zavara ili ispod korijena zavara
- Uključine volframa: čestice volframove elektrode u metalu zavara
- Ostaci potpornog materijala za izradu korijena zavara
- Uključine oksida: čestice površinskih oksida koje se nisu otopile i nalaze se u metalu zavara.
- Naljepljivanje: stanje u kojem je metal zavara loše povezan s osnovnim materijalom
- Nepotpuna penetracija: stanje u kojem je penetracija manja od zadane.
- Krateri: udubine u zavaru
- Progaranje osnovnog materijala: uzrokovano prevelikim unosom topline
- Onečišćenje kapljicama metala: uzrokovano prskanjem prilikom zavarivanja
- Nedovoljni provar korijena

Metalurške nepravilnosti uključuju:

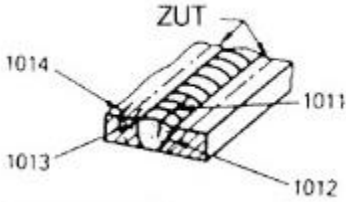
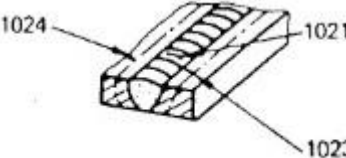
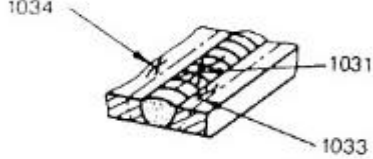
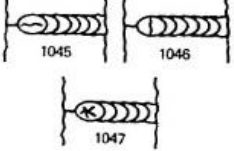
- Pukotine
- Plinski uključci: mjesta vodika u metalu zavara (pore)
- Segregacije: uzrokovano nejednolikom distribucijom nečistoća ili legirajućih elemenata, stvaraju pukotine i slaba mjesta pri opterećenju [4]

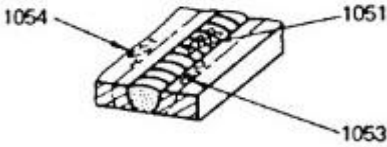

Navedene pogreške ovise uglavnom o izabranom procesu zavarivanja, tipu zavara, materijalu i radnim i okolišnim uvjetima. Kod MAG zavarivanja, najčešće greške koje se javljaju su: porozitet, nepotpuna penetracija i naljepljivanje.

3.1 Pukotine (Skupina 100)

Pukotine se smatraju najopasnijim pogreškama u zavarenom spoju i u pravilu nisu dopuštene. Zbog njihove geometrije (dvije dimenzije izrazito velike u odnosu na treću, oštri rubovi, nepovoljni položaji), nosivi presjek zavarenog spoja, osobito ako su položene poprijeko na smjer naprezanja, bitno se smanjuje, a time i čvrstoća spoja. Pukotine spadaju među pogreške koje se najviše obrađuju, prvenstveno zbog toga što je veći broj otkazivanja konstrukcija nastao njihovom naknadnom pojavom, zbog pogrešaka u fazama prije ili nakon nastanka zavarenog spoja.

Tablica 1. prikazuje nazive slike i opise pogrešaka iz skupine pukotina prema normi HRN EN ISO 6520. [5].

Naziv i prikaz	Oznaka	Opis
Pukotina	100	Pukotine su mjestimično razdvojen materijal u zavarenom spoju zbog loma nastalog utjecajem zavarivanja
Mikropukotina	1001	Mikropukotina je sitna, mikroskopom vidljiva pukotina
Uzdužne pukotine 	101 1011 1012 1013 1014	Uzdužne pukotine su one koje se protežu uglavnom, uzdužno na zavar, a mogu biti: - u zavaru - na granici pretaljivanja - u zoni utjecaja topline (ZUT) - izvan ZUT-a u osnovnom materijalu
Poprečne pukotine 	102 1021 1023 1024	Poprečne pukotine su one koje se protežu poprečno na os zavora, a mogu biti: - u zavaru - u zoni utjecaja topline (ZUT) - izvan ZUT-a u osnovnom materijalu
Pukotine zvjezdastog oblika 	103 1031 1033 1034	Pukotine zvjezdastog oblika su one koje poolaze iz jednog mjesta i zrakasto se rasprostiru, a mogu biti: - u zavaru - u zoni utjecaja topline (ZUT) - izvan ZUT-a u osnovnom materijalu
Pukotine u završnom krateru 	104 1045 1046 1047	Pukotine u završnom krateru, mogu biti oblika: - uzdužno u pravcu zavora - poprečno na zavar - zvjezdastog oblika

<p>Pukotine u odvojenim skupinama</p> 	<p>105 1051 1053 1054</p>	<p>Pukotine u odvojenim skupinama koje nisu povezane, a mogu biti:</p> <ul style="list-style-type: none"> -u zavaru - u zoni utjecaja topline (ZUT) - izvan ZUT-a u osnovnom materijalu
<p>Razgranate pukotine</p> 	<p>106 1061 1063 1064</p>	<p>Razgranate pukotine međusobno su ovisne i polaze iz jedne zajedničke pukotine. Razlikuju se od pukotina pod 103 i 105, a mogu biti:</p> <ul style="list-style-type: none"> -u zavaru - u zoni utjecaja topline (ZUT) - izvan ZUT-a u osnovnom materijalu

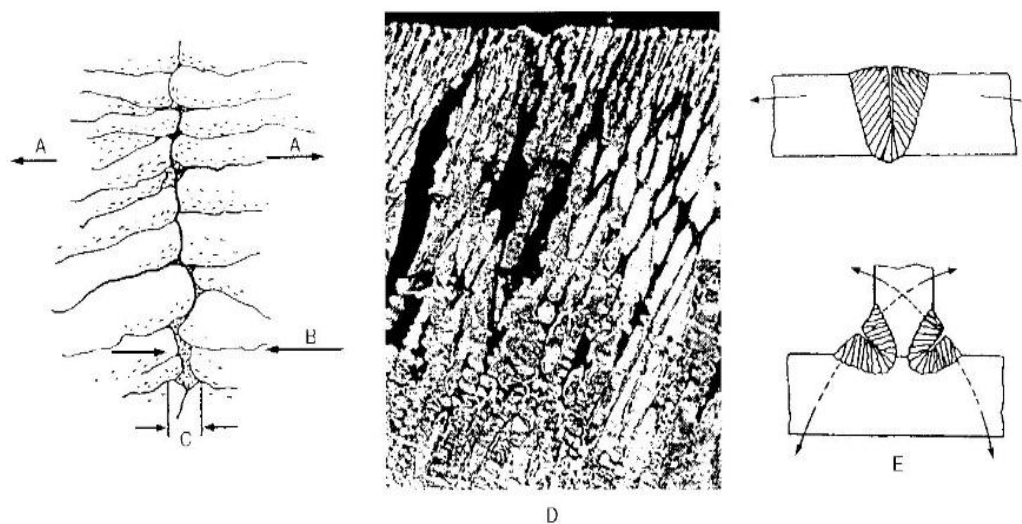
Tablica 1. Pukotine u zavarenom spoju (HRN EN ISO 6520) [5], [6]

3.1.1 Tople pukotine

Tople pukotine kod zavarivanja nastaju u temperaturnom području od 1.200°C do 900°C tijekom hlađenja taline do čvrstog stanja. Prostiru se po granicama zrna materijala, najčešće po dužini u sredini zavara, ali moguće su i u zoni utjecaja topline. Glavni uzrok nastajanja toplih pukotina je gubitak sposobnosti metala zavara da izdrži naprezanja nastala skupljanjem u posljednjoj fazi skrućivanja kod visokih temperatura. Pojava toplih pukotina je posebno vezana s nečistoćama u materijalu, legiranjem, parametrima zavarivanja, nepovoljnim oblikom žlijeba i naročito nepravilnim izborom dodatnog materijala. Materijali skloni pojavi toplih pukotina su: austenitni čelici, aluminij i njegove legure. Mehanizam nastajanja toplih pukotina može se objasniti slikom 5. [5]

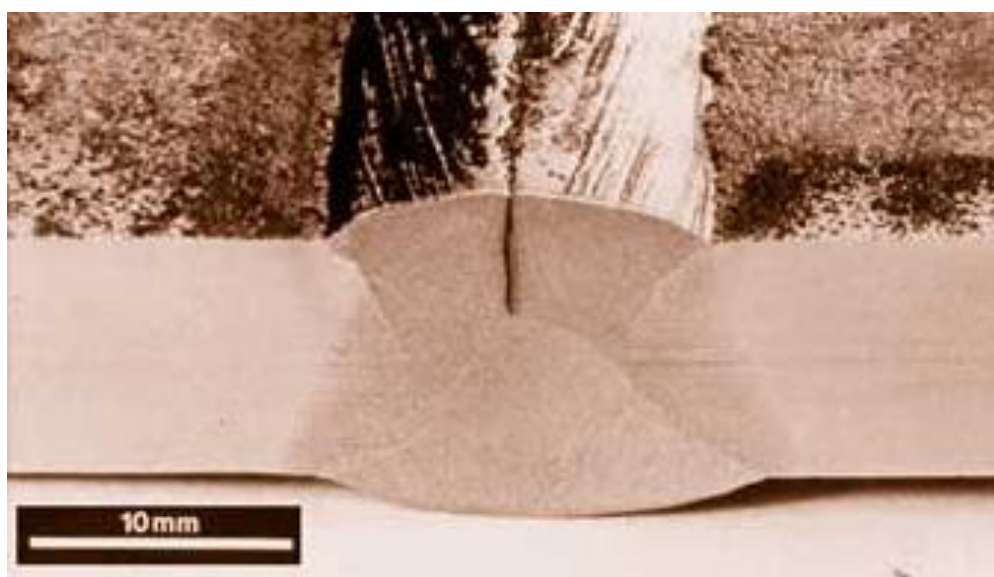
- Skrućivanje zavara počinje od hladnih stranica žlijeba prema sredini zavara, a talina popunjava razdvojeni dio (B).
- U završnoj fazi skrućivanja preostaje tanki film taline između zrna skrućenog metala (C).
- Područje skrućenog materijala skuplja se u smjeru suprotnom od pravca skrućivanja stvarajući velika naprezanja (A).
- Ako u procesu između skupljanja i skrućivanja, nadvlada sakupljanje, ostat će zrna materijala razdvojena, u toplom stanju- topla pukotina (E). [5]

Slika 6. prikazuje toplu pukotinu na licu zavara, a slika 7. nevidljivu unutarnju toplu pukotinu.

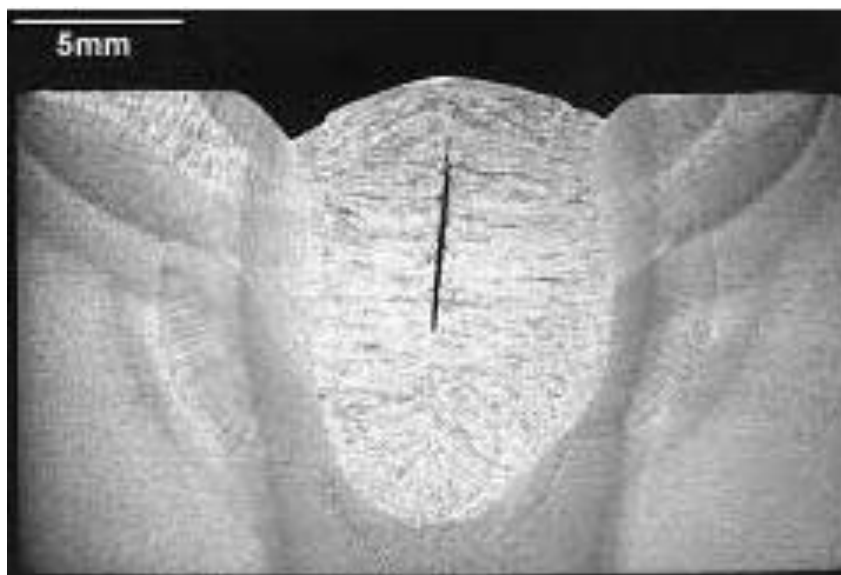


Slika 5. Shematski prikaz mehanizma nastajanja toplih pukotina [5]

- A Pravac skupljanja metala zvara kod skrućivanja
- B Pravac skrućivanja metala zvara
- C Preostala talina na granici zrna
- D Tople pukotine- mikrostruktura, austenitni metal zvara
- E Pravci opiranja osnovnog materijala skupljanju zvara



Slika 6. Topla pukotina na licu zvara [8]



Slika 7. Nevidljiva unutarnja topla pukotina [9]

3.1.2 Hladne pukotine

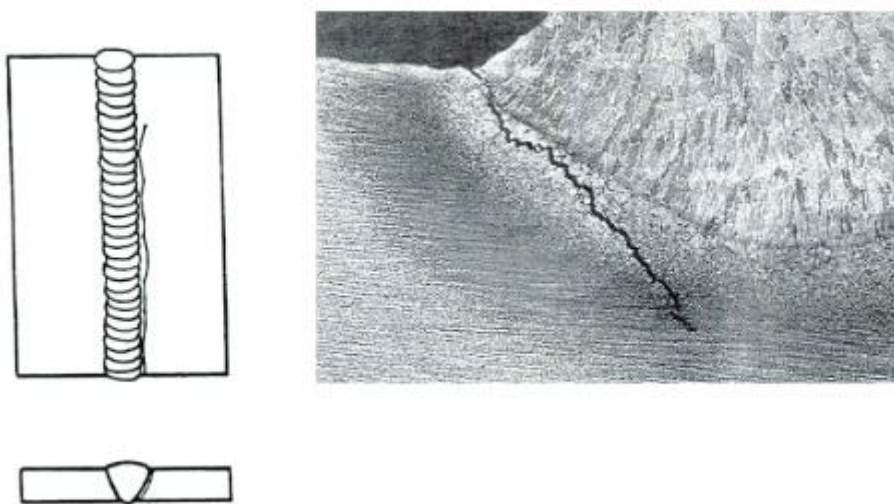
Hladne pukotine nastaju nakon zavarivanja na temperaturi nižoj od 300°C. Nekad se mogu pojaviti nekoliko sati, a nekad i nekoliko dana nakon zavarivanja. Mogu biti položene uzdužno i poprečno na zavar ili na prijelazu u osnovni materijal. Također mogu biti vidljive (na površini zavara) i nevidljive u samom zavaru. Po veličini mogu biti mikropukotine koje se vide pod mikroskopom, do makropukotina koje vidimo golim okom.

Glavni uzročnici nastanka toplih pukotina su:

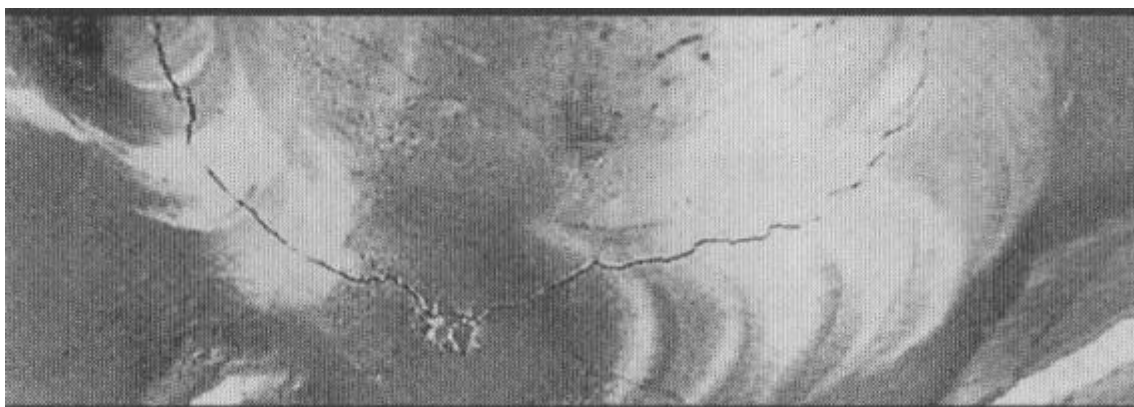
- strukture metala zavara te ZUT-a, koje su osjetljive na djelovanje vodika,
- prisutnost vodika u zavaru,
- metal sklon otvrdnjavanju, naročito u ZUT-u,
- djelovanje naprezanja nastalih skupljanjem zavara,
- nepovoljan položaj uključka u zavaru.

Mehanizam nastajanja hladnih pukotina vrlo je složen. Pojednostavljeni prikaz: vodik koji je difundirao u talinu zavara kod visokih temperatura nalazi se u atomarnom stanju. Pri hlađenju vodik prelazi u molekulu i skuplja se u materijalu na mjestima sitnih pogrešaka. Na tim mjestima nastaju vrlo visoki tlakovi. Njegova raspodjela ovisi od količine i tipova raznih uključaka, mikro i makro pora te njihovog rasporeda, koje se pod utjecajem visokog tlaka vodika mogu između sebe povezati u manju ili veću pukotinu, posebno kada dodatno djeluju visoka naprezanja nastala skupljanjem metala zavara ili krhko stanje otvrdnutog metala u ZUT-u. Hladne pukotine najčešće nastaju na zavarenim spojevima čelika povišene i visoke čvrstoće. Tvrdi zakaljiva struktura ovih čelika ima smanjenu istezljivost pa pod utjecajem

velikih zaostalih naprezanja može doći do loma, odnosno pojave pukotina. Česte su pojave hladnih pukotina kod reparaturnih zavarivanja, uglavnom kod slabo zavarljivih čelika ili gdje su nakon zavarivanja vrlo visoka zaostala naprezanja. Vodik koji je najveći uzročnik nastajanja hladnih pukotina, dolazi u zavar razlaganjem vlage na visokim temperaturama te iz drugih nečistoća kao hrđa, okujina, masnoća, vlaga koje se nalaze na površini mjesta zavarivanja. Slika 8. prikazuje hladnu pukotinu u ZUT-u, a slika 9. pukotine u kružnom kutnom spoju. [4], [5].



Slika 8. Sučeljeni spoj: hladna pukotina u ZUT-u [10]



Slika 9. Kutni kružni spoj: pukotina polazi iz kratera [5]

3.1.3 Izbjegavanje nastajanja pukotina

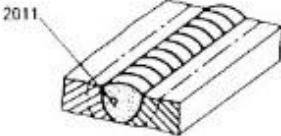
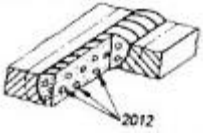
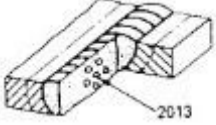
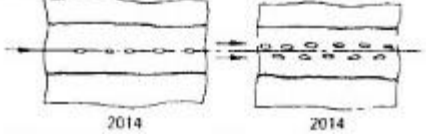
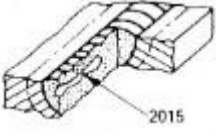
Neka od osnovnih pravila za izbjegavanje nastajanja pukotina su:

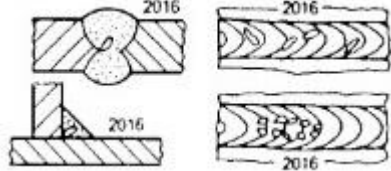
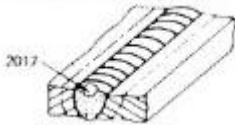
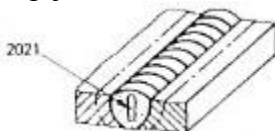
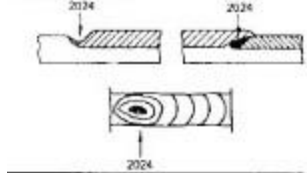
- pravilan izbor postupaka i uvjeta zavarivanja,
- pravilan izbor dodatnog materijala,
- sušenje elektroda i prašaka prije zavarivanja,
- čistoća u pripremi spoja za zavarivanje: ne smije biti vlage, hrđe, okujine, masnoća, a površinu uz zavar treba pobrusiti,
- tamo gdje se zahtijeva, obavezno treba izvršiti predgrijavanje na odgovarajuću temperaturu i održavati je tijekom zavarivanja,
- ograničeni unos topline tijekom zavarivanja,
- provoditi višeslojno zavarivanje vezanim slojevima, bez velikog poprečnog gibanja vrha elektrode,
- provoditi redosljed zavarivanja koji osigurava najmanja zaostala naprezanja u zavarenom spoju,
- izvoditi pravilno započinjanje i prekidanje zavarivanja, te pravilnu popunu završnog kratera,
- izbjegavati privarivanje pomoćnih sredstava po površini materijala. Ako ih se ne može izbjeći, valja ih izvoditi istim načinom i pažnjom kao i glavni zavar. Skidaju se brušenjem, a ne odbijanjem,
- izbjegavati oštećenja površine materijala električnim lukom i oštrim alatima,
- kod zavarivanja debljih materijala, a i tamo gdje se sumnja da može doći do pojave pukotina, provodi se dodatna kontrola zavarenih spojeva nakon odžarivanja. [5]

3.2 Šupljine - poroznost (Skupina 200)

Poroznost je uzrokovana zarobljenim česticama plina u metalu zavora. Najčešće su to dušik i vodik koji imaju veću topivost u rastaljenom nego u čvrstom stanju materijala. Tijekom skrućivanja, čestice plina nastoje izaći iz metala zavora u obliku mjehurića. Ako je brzina izlučivanja plinova manja od brzine skrućivanja metala neki od tih mjehurića ostaju zarobljeni u metalu zavora, tvoreći sitna, okom nevidljiva mjesta, a ponekad i mjesta veličine od nekoliko milimetara. Veličine i oblici šupljih mjesta ovise o količini upijenog, odnosno izlazećeg plina iz taline metala zavora i brzine skrućivanja. Štetni plinovi ulaze u talinu iz električnog luka. U električni luk dolaze iz okolne atmosfere, iz vlage i drugih nečistoća što se nalaze na dodatnom materijalu i na površini osnovnog materijala na mjestu zavarivanja, razlaganjem spojeva pod utjecajem visokih temperatura. [4], [5].

U tablici 2. prikazane su vrste, nazivi i oznake poroznosti prema normi HRN EN ISO 6520.

Naziv i prikaz	Oznaka	Opis
Šupljine Plinski ukljucci	200 201	Šupljine bez plina Plinom ispunjene šupljine
Plinski mjehurić-pora 	2011	Pojedinačni plinski uključak, mjehurić ili pora, kuglastog oblika u zavaru
Plinski mjehurići-poroznost 	2012	Više plinskih mjehurića jednoliko raspoređenih u metalu zavora
Gnijezdo plinskih mjehurića 	2013	Mjestimična skupina plinskih mjehurića- pora u metalu zavora
Plinski mjehurići u nizu 	2014	Plinski mjehurići u nizu u metalu zavora raspoređeni duž linije osi zavora ili usporedno s osi zavora
Izduženi plinski uključak 	2015	Veći plinski uključak izduženog oblika u metalu zavora, približno usporedan s osi zavora

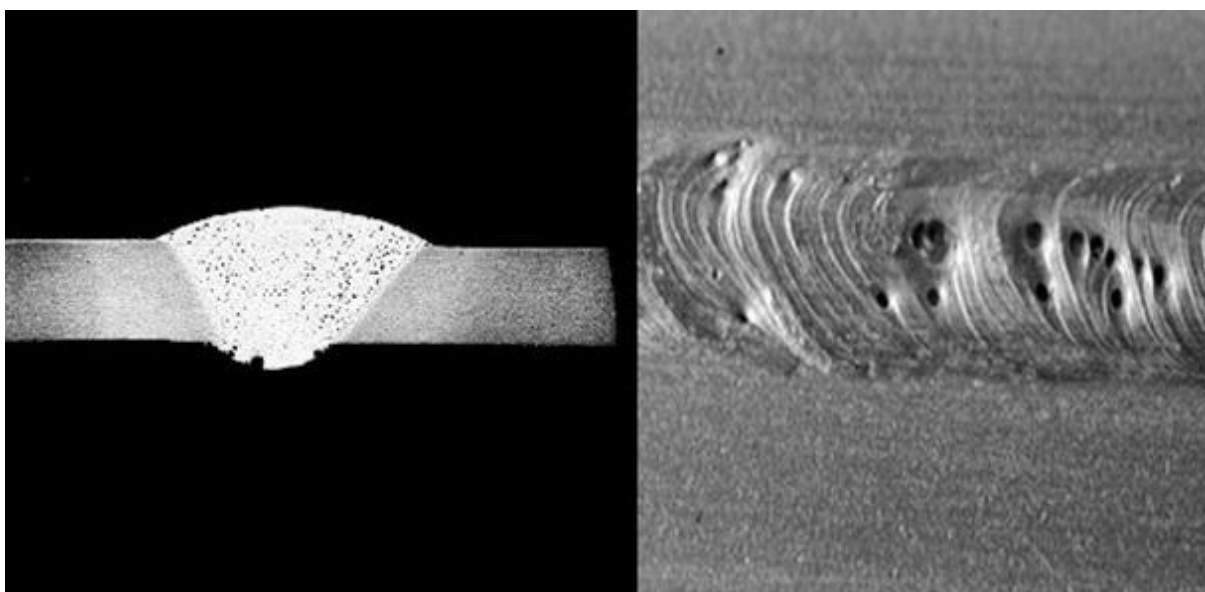
<p>Cijevasti plinski uključak</p> 	2016	Plinski uključak cijevastog oblika koji se u metalu zavora rasprostire okomito ili razgranato na os zavora
<p>Površinski otvoreni mjehurići</p> 	2017	Na površini zavora vidljivi otvori- pore
<p>Šupljine</p>	202	Šupljina u zavoru nastala skrućivanjem zavora
<p>Makrošupljina</p> 	2021	Šupljina izduženog oblika okomito na zavar, nastala u skrućivanju zavora. Može biti ispunjena plinom
<p>Mikrošupljina</p>	203	Šupljine u zavoru vidljive samo mikroskopom
<p>Međukristalna mikrošupljina</p>	2031	Međukristalne šupljine u zavoru vidljive samo mikroskopom
<p>Šupljine u završnom krateru</p> 	2024	Šupljine u završnom krateru nastaju kod prekidanja električnog luka i skrućivanjem taline. Mogu biti vidljive u krateru ili nevidljive pod nastavkom zavora

Tablica 2. Šupljine (poroznosti) u zavarenom spoju (HRN EN ISO 6520). [5], [6]

Slike 10. i 11. prikazuju poroznost u kutnom i sučeljenom spoju.



Slika 10. Poroznost u kutnom spoju [11]



Slika 11. Poroznost u sučeljenom spoju [12]

3.2.1 Utjecaj poroznosti na čvrstoću zavarenog spoja

Ovisno o broju, veličini, obliku i mjestu poroznosti te vrsti i zahtjevima na kvalitetu konstrukcije, ove pogreške različito utječu na čvrstoću zavarenog spoja. Pojedinačne pore kuglastog oblika u sučeljenom spoju nemaju većeg utjecaja na smanjenje čvrstoće zavarenog spoja. Ako su pore otvorene na površini, štetno djeluju na čvrstoću zavaru. U kutnom zavaru pore su štetne, posebno pri nižim temperaturama te kod oscilirajućih opterećenja konstrukcije. U dinamički opterećenoj konstrukciji poroznost djeluje štetno. S vremenom dolazi do pojave pukotina povezivanjem između pojedinih pora, naročito kad su blizu jedna drugoj. Ako dođe do pojave poroznosti, popravljaju se žlijebljenjem i ponovnim pravilnim zavarivanjem.

3.2.2 Uzroci i izbjegavanje nastajanja poroznosti

Uzročnici poroznosti u zavaru su:

- nečistoće i vlaga na mjestu zavarivanja i u dodatnim materijalima,
- slaba zaštita procesa zavarivanja,
- neispravni parametri i tehnika rada u zavarivanju.

Nečistoće su najčešće hrđa i okujina, čestice oksida ili odvojene čestice od brušenja u žlijebu. Vlaga je prisutna najčešće u oblozi elektrode, zaštitnom plinu i na površini mjesta zavarivanja, naročito kod zavarivanja po hladnijem vremenu. Previsok električni luk slabi zaštitu taline i kapljice metala u prolazu kroz luk. Nepravilno uspostavljanje i prekidanje električnog luka česti je uzročnik poroznosti u zavaru. Mjesta početka i završetka zavarivanja obično su sklona pojavi poroznosti.

Pravila za izbjegavanje nastanka poroznosti:

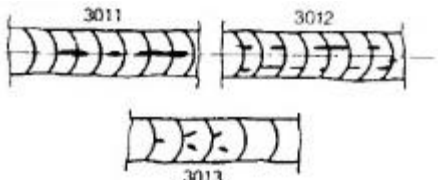
- čistoća mjesta zavarivanja, naročito kod visokih zahtijeva za kvalitetu zavarenih spojeva,
- odmašćivanje spoja prije zavarivanja nehrđajućih čelika,
- uklanjanje oksida neposredno prije zavarivanja aluminijske i njegovih legura,
- plinskim plamenom osušiti spoj prije zavarivanja pri hladnijim vremenskim uvjetima,
- pravilno uspostavljanje i prekidanje električnog luka,
- pravilno održavanje visine električnog luka, pravilan nagib pištolja ili elektrode,
- ispravna količina zaštitnog plina,
- sušenje obloženih elektroda i praška prije zavarivanja,
- čistoća zaštitnog plina,
- ispravan uređaj za zavarivanje,
- ispravni parametri zavarivanja,
- ispravna tehnika rada. [5]

3.3 Čvrsti uključci (Skupina 300)

Čvrsti uključci, kao strano tijelo u metalu zavora, mogu biti nemetali kao troska i prašak, a mogu biti i u metalu kao npr. uključak volframa ili spojevi npr. oksidna kožica u zavaru aluminijske. Uključci troske u zavaru najčešće nastaju usljed nedovoljnog čišćenja među slojevima zavora. Troska se ponekad teško čisti, naročito u dubokim žljebovima i oštrim uglovima, npr. kod vezanih slojeva ili oštećenih stranica žlijeba ili previše ispupčenog predhodnog sloja zavora. Pravilno je ta mjesta izbrusiti prije zavarivanja sljedećeg sloja. Uključci troske mogu nastati u nerazmaknutom korijenu preuskog žlijeba ili u oštroj kuti spoja, podvlačenjem taline troske pod talinu metala. Isti mogu nastati i usljed nepravilne tehnike rada ili premale brzine zavarivanja, gdje talina troske „bježi“ ispod električnog luka ispod taline metala. Uključci oksidne kožice javljaju se kod TIG i MIG zavarivanja Al i Al-legura zbog lošeg čišćenja oksidne kožice na površini žlijeba, neposredno

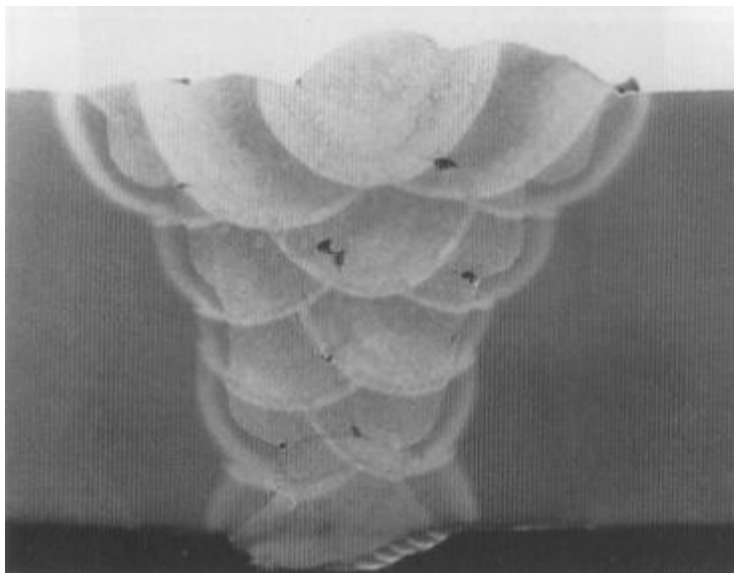
prije zavarivanja. Osim navedenih grubih uključaka, u metalu zavora može biti još niz drugih sitnih uključaka koji su posljedica kemijskih reakcija u procesu zavarivanja kao što su: silikatni, fosfidni, sulfidni i nitridni ukljucci. Smješteni su na granicama zrna i njihova štetnost usko je povezana s nastajanjem pukotina. [5]

Tablica 3. prikazuje nazive, prikaze i opise pogrešaka tipa čvrstih uključaka u zavaru, prema normi HRN EN ISO 6520.

Naziv i prikaz	Oznaka	Opis
Čvrsti ukljucci	300	Čvrsti strani materijal kao ukljućak u materijalu zavora
Ukljućak troske 	301 3011 3012 3013	Ukljućak troske od obloge elektrode, troske od praška i od žice, u metalu zavora, a može biti: - u nizu - pojedinaćni - ostali
Ukljućak praška Slika kao pod 301	302 3021 3022 3023	Ostatak praška zarobljen u zavaru, može biti: - u nizu - pojedinaćni - ostali
Ukljućak oksida	303	Metalni oksid kod skrućivanja ostao zarobljen u metalu zavora
Ukljućak oksidne kožice	3031	Ukljućak oksidne kožice ili filma metalnog oksida, najćešće kod zavarivanja aluminija i aluminijjskih legura
Ukljućak stranog metala	304 3041 3042 3043	Ukljućak stranog metala su zarobljeni komadići druge vrste metala u metalu zavora, mogu biti: - volfram - bakar - ostali metali

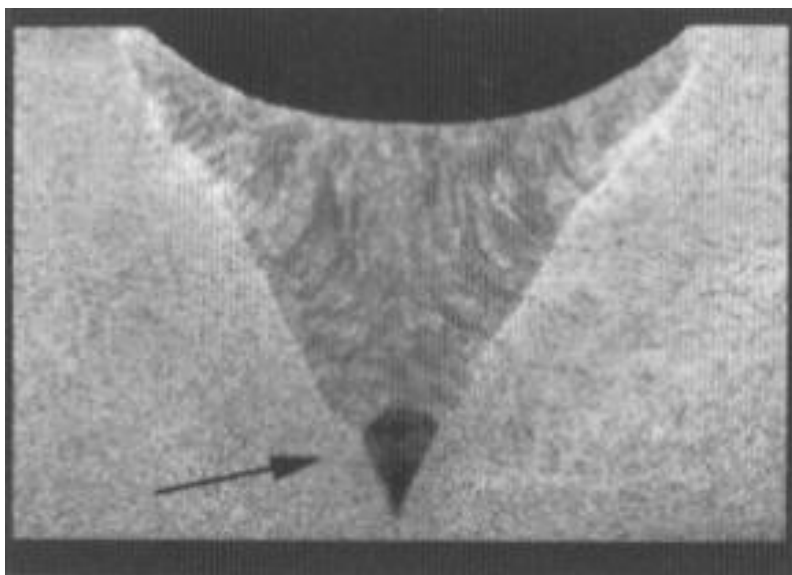
Tablica 3. Čvrsti ukljucci u zavarenom spoju (HRN EN ISO 6520). [5], [6]

Na slici 12. prikazani su uključci troske kod MAG postupka zavarivanja.



Slika 12. Uključci troske kod MAG postupka zavarivanja[5]

Na slici 13. prikazan je uključak troske kod MAG postupka zavarivanja praškom punjenom žicom.



Slika 13. Uključak troske kod MAG postupka zavarivanja praškom punjenom žicom. [5]

3.3.1 Utjecaj čvrstih uključaka na čvrstoću zavarenog spoja

Nemetalni uključci kao i uključci stranog metala smanjuju čvrstoću zavarenog spoja zbog nehomogenosti u smanjenju presjeka materijala zavara. Na tim mjestima povećane su koncentracije naprezanja u zavaru. Utjecaj na čvrstoću zavarenog spoja ovisi o količini, obliku i veličini uključaka. Uključci oštih rubova djeluju kao inicijatori pukotina. Dugački uključci većih volumena smanjuju presjek zavara. Sitni uključci kuglastih oblika i manjih količina, nisu opasni i djeluju poput pora kuglastog oblika. Metalni uključci su uglavnom maleni, najčešći je uključak volframa kod TIG postupka zavarivanja aluminija i aluminijskih legura. S metalnim uključcima postupa se isto kao i s nemetalnim uključcima u zavaru. [5]

3.3.2 Izbjegavanje nastajanja čvrstih uključaka u zavaru

Pravila izbjegavanja nastanka čvrstih uključaka:

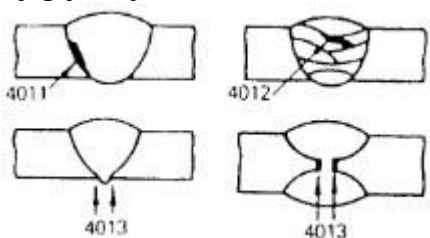
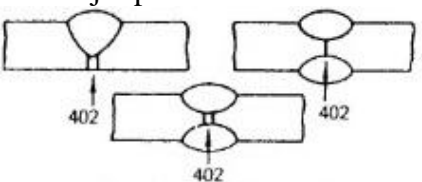
- pravilna priprema spoja za zavarivanje, ispravan kut otvora žlijeba,
- obavezno čišćenje troske među slojevima kod višeslojnog zavarivanja,
- kod oštećenja stranica žlijeba (ugorine) ili kod većeg ispupčenja predhodnog sloja, potrebno je brušenjem odstraniti oštre zareze prije zavarivanja sljedećeg sloja,
- zavarivanje treba izvoditi ispravnim parametrima i ispravnom tehnikom rada,
- kod zavarivanja aluminija i aluminijskih legura treba oksidnu kožicu otkloniti četkanjem ili struganjem, neposredno prije zavarivanja,
- kod TIG zavarivanja aluminija i aluminijskih legura valja pripaziti da se talina zavara ne dodiruje vrhom volframove elektrode. [5]

3.4 Naljepljivanje i nedovoljni provar (Skupina 400)

Naljepljivanje je pogreška nepostojanja čvrste strukturne veze u zavarenom spoju ili navaru. Kod zavarivanja taljenjem nastaje „nalijeganje“ taline dodatnog materijala na hladnu nepretaljenu površinu spoja ili predhodnog sloja zavara. Na takvim mjestima izostaje čvrsta strukturna veza u zavarenom spoju ili navaru. Pogreška je tim neugodnija što se teško pronalazi postojećim metodama kontrole.

Nedovoljni provar je nedovoljno protaljivanje (penetracija) po cijelom presjeku zavarenog spoja, odnosno neprovarivanje korijena zavara. Ove vrste pogrešaka česte su kod MAG postupka zavarivanja. [5]

Tablica 4. prikazuje nazive, prikaze i opise pogrešaka tipa naljepljivanje i nedovoljni provar prema normi HRN EN ISO 6520.

Naziv i prikaz	Oznaka	Opis
<p>Naljepljivanje</p> 	<p>400 401 4011 4012 4013</p>	<p>Naljepljivanje je pogreška nepostojanja čvrste veze u zavarenom spoju. Naljepljivanje može biti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - na stranice žlijeba/kutnog spoja - između slojeva zavara - u korijenu zavara
<p>Nedovoljni provar</p> 	<p>402</p>	<p>Nedovoljni provar je nedovoljno protaljivanje po cijelom presjeku zavarenog spoja, odnosno neprovarivanje korijena zavara</p>

Tablica 4. Naljepljivanje i nedovoljni provar (HRN EN ISO 6520). [5], [6].

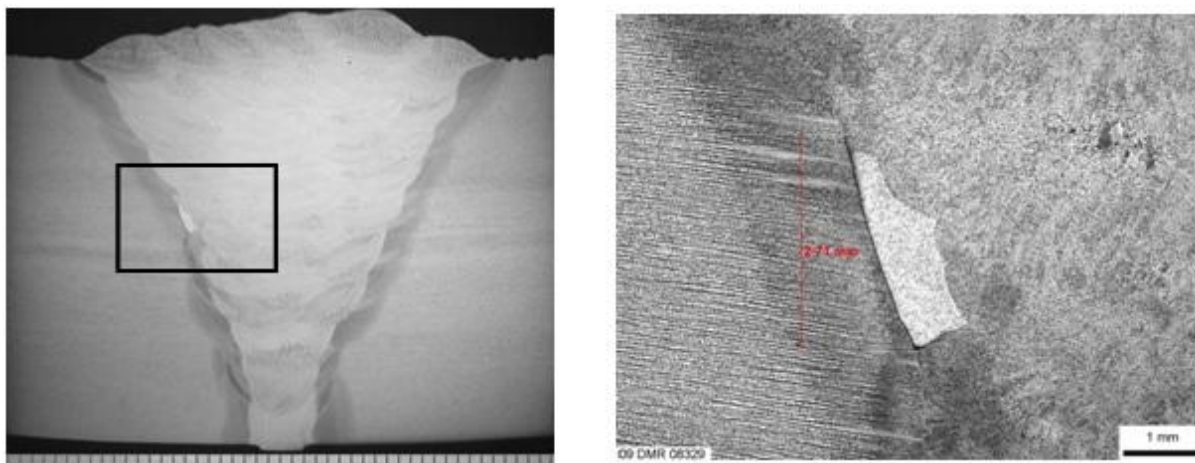
3.4.1 Uzroci naljepljivanja

Najčešći uzroci nastajanja pogrešaka naljepljivanja su:

- prevelika brzina zavarivanja,
- preveliki promjer elektrode,
- premala jakost struje,
- loša priprema spoja,
- preoštar kut spoja,
- puhanje električnog luka,
- nepravilna tehnika rada. [4]

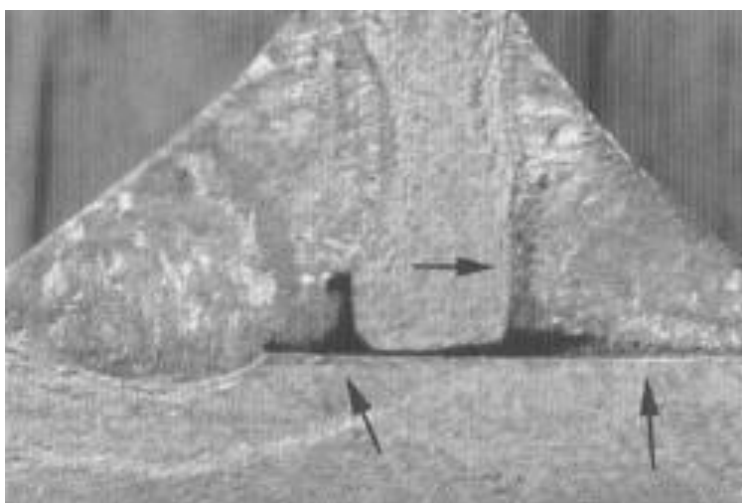
Ova skupina pogrešaka često se javlja kod MAG postupka zavarivanja.

Na slici 14. prikazana je pogreška naljepljivanja u sučeljenom spoju.



Slika 14. Naljepljivanje u sučeljenom spoju [13]

Slika 15. prikazuje pogrešku naljepljivanja u kutnom spoju, zbog zavarivanja velikim jakostima struje i premalim brzinama.



Slika 15. Naljepljivanje u kutnom spoju [5]

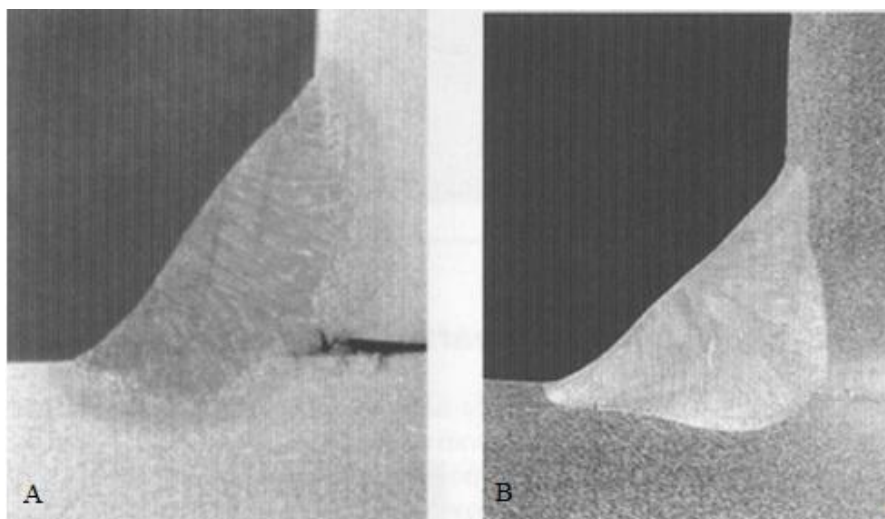
3.4.2 Uzroci nedovoljnog provara

Nedovoljni provar ili „nprovaren korijen“ zavora, može biti unutarnja pogreška u zavoru, tamo gdje se zavarivanje izvodi obostrano ili vanjska pogreška kod zavarivanja samo s jedne strane. Vanjska pogreška može se vizualno otkriti, ali ne i u onim slučajevima gdje je onemogućen pristup korijenu zavora (cijevi manjeg promjera).

Najčešći uzroci nedovoljnog provara su:

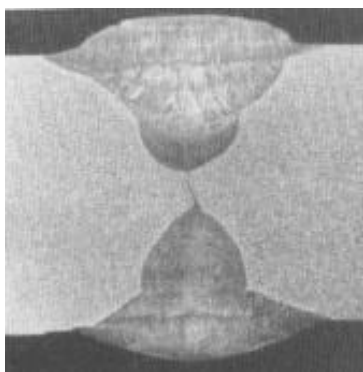
- mala jakost struje zavarivanja,
- prevelika brzina zavarivanja,
- prisutnost nečistoća na površini materijala (oksidi, ulje, prljavština koji smanjuju penetraciju),
- nepravilna tehnika rada. [4], [5].

Slika 16. prikazuje razliku između dobro izvedenog i loše izvedenog kutnog zavora.



Slika 16. A loš kutni zavar, nprovarenost je uzrokovala naljepljivanje i nastanak pukotine.

B dobro izveden kutni zavar. [5]



Slika 17. Nprovareni korijen zavora [5]

3.4.3 Utjecaj naljepljivanja i nedovoljnog provara na čvrstoću zavarenog spoja

Naljepljivanje je nepostojanje čvrste strukturne veze u zavarenom spoju. Ove pogreške smanjuju čvrstoću zavarenog spoja, a mogu biti polazna točka loma u eksploatacijskim uvjetima. Posebno su opasne na dinamički opterećenim konstrukcijama. Pogreške naljepljivanja u zavarenom spoju u pravilu nisu dopuštene, samo u izuzetnim slučajevima mogu se dopustiti na manje opterećenim konstrukcijama.

Pogreške nedovoljnog provara smanjuju čvrstoću zavarenog spoja i polazna su točka loma u eksploatacijskim uvjetima. Posebno su opasne na dinamički opterećenim konstrukcijama. U pravilu nisu dopuštene, samo u izuzetnim slučajevima mogu se dopustiti na manje opterećenim konstrukcijama. [5]

3.4.4 Izbjegavanje pogrešaka naljepljivanja i nedovoljnog provara

Preporuke za izbjegavanje nastanka pogrešaka naljepljivanja:

- zavarivanje MIG/MAG postupkom, debljih materijala malim jakostima struje treba isključiti. Zavarivanje u okomitom položaju ovom tehnikom je moguće uz dobro pretaljivanje stranica žlijeba,
- kod zavarivanja većim jakostima struje u vodoravnom položaju, posebnu pozornost treba obratiti brzini zavarivanja, tako da talina ne bježi ispred električnog luka,
- kod zavarivanja debelih materijala i debelog kutnog zavara bolje je višeslojno zavarivanje, vezanim slojevima. To se odnosi na sve postupke zavarivanja.

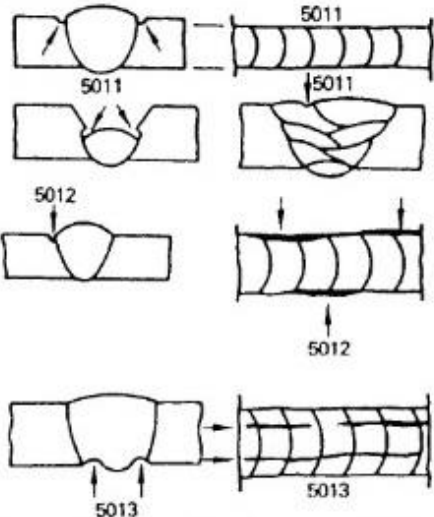
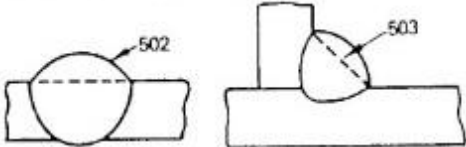
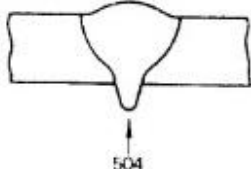
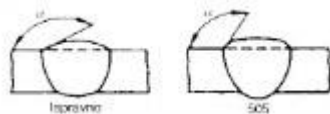
Preporuke za izbjegavanje nastanka pogrešaka nedovoljnog provara:

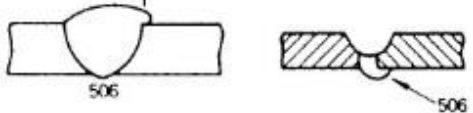

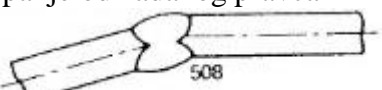
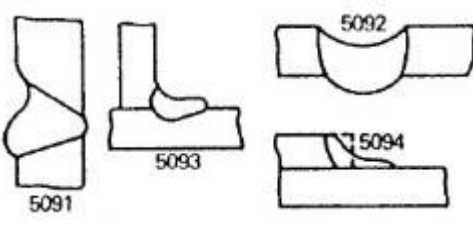
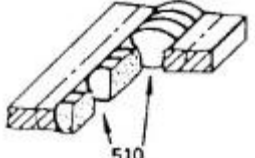
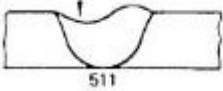
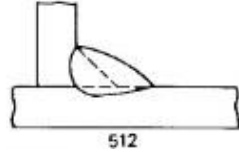
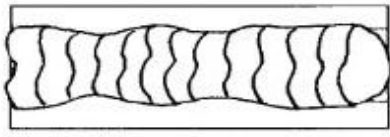
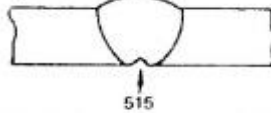
- dobra obuka zavarivača za izvođenje korijena zavara,
- pravilna priprema spoja,
- kod visokih zahtjeva za kvalitetu potpuno provarenog korijena zavara, najbolje je zavarivanje korijena izvoditi TIG postupkom zavarivanja, na tankim i vrlo debelim materijalima,
- preporuča se zavarivanje korijena zavara na keramičkoj podlozi, za što je prikladan MIG/MAG postupak s punjenom žicom,
- tamo gdje se korijen zavara žlijebi, to treba izvoditi bespriječno do čistog metala zavara. [5]

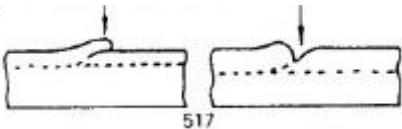
3.5 Pogreške oblika zavar (Skupina 500)

Pogreškom oblika zavar smatra se svako odstupanje od zadanog oblika zavar. Poznato je da pogreške oblika zavar nisu samo estetske prirode, već je njihov utjecaj u smanjenju nosivosti zavarenog spoja vrlo značajan, naročito kod dinamički opterećenih konstrukcija. Sve ove pogreške dobro su vidljive i mjerljive vizualnim pregledom. Stoga je njihovo određivanje relativno jednostavno. [5]

Tablica 5. prikazuje klasifikaciju, oznake i opise pogrešaka oblika zavar:

Naziv i prikaz	Oznaka	Opis
Pogreške oblika zavar	500	Odstupanje od propisanog oblika zavar i zavarenog spoja
Ugorine uz zavar 	501 5011 5012 5013	Ugorine uz zavar su oštećenja oblika oštih udubina uz zavar na stranicama žlijeba ili kutnog zavar, te na prijelazu kod vezanih slojeva u žlijebu, koja mogu biti: - po cijeloj dužini uz zavar - mjestimično uz zavar - uz korijen zavar
Preveliko nadvišenje zavar 	502 503	Preveliko nadvišenje ili preveliko ispupčenje lica zavar, koje može biti: - na sučeljenom spoju - na kutnom spoju
Preveliko nadvišenje korijena zavar 	504 5041	Preveliko nadvišenje korijena zavar, koje može biti: - na većim dužinama korijena zavar - mjestimično kao prokapljina
Oštar prijelaz zavar 	505	Premali, „oštar“ kut α kod prijelaza površine zavar na osnovni materijal

<p>Preklop zavora</p> 	506	Preklop materijala zavora na površinu osnovnog materijala izvan žlijeba bez staljivanja s osnovnim materijalom
<p>Posmaknutost u sučeljavanju</p> 	507	Odstupanje od ravnine u sučeljavanju dvaju elemenata
<p>Odstupanje od zadanog pravca</p> 	508	Odstupanje od zadanog pravca kod dva ili više zavarenih elemenata
<p>Utonulost zavora</p> 	509 5091 5092 5093 5094	Utonulost zavora kod zavarivanja pod utjecajem sile teže, može biti na: - sučeljenom spoju u zidnom položaju - sučeljenom spoju u vodoravnom položaju - kutnom spoju u vodoravnom položaju - preklopnom spoju
<p>Progaranje</p> 	510	Otvor (rupa) u zavoru nastala progaranjem ili propaljivanjem
<p>Nedovoljno popunjen zavar</p> 	511	Pokrovni sloj ili popuna zavora preniska, mjestimično ili po cijeloj dužini
<p>Nesimetričan kutni zavar</p> 	512	Nesimetričan kutni zavar, najčešće položena stranica kutnog zavora duža od okomite
<p>Nepravilan izgled zavora</p> 	513 514	Nepravilan izgled zavora može biti: - neravnomjerna širina, mjestimično uža pa širi zavar - neravnomjerna površina zavora, jako narebrena površina zavora
<p>Uvučen korijen zavora</p> 	515	Nedovoljno popunjen, plitak korijen zavora

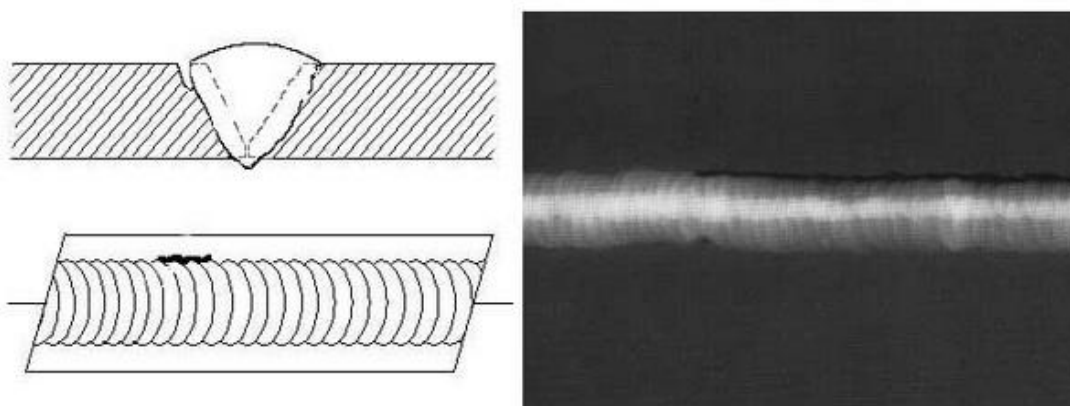
Šupljikav korijen zavara	516	Stvaranje šupljikavog materijala spužvastog izgleda u korijenu zavara
Nepravilno izveden nastavak 	517	Nepravilno izveden nastavak na površini zavara, nedovoljno spojen ili previše nadvišen

Tablica 5. Pogreške oblika zavara (HRN EN ISO 6520). [5], [6].

3.5.1 Ugorine uz zavar (501)

Ugorine su oštri zarezi uz zavar na prijelazu zavar-osnovni materijal kod sučeljenog i kutnog spoja. Mogu biti i na prijelazu zavar-stranica žlijeba ili zavar-zavar kod višeslojnog zavarivanja. Ugorine mogu biti mjestimične ili po cijeloj dužini uz zavar. Ugorine uz zavar nastaju nepravilnom tehnikom rada i nepravilnim parametrima zavarivanja. Prejaka struja zavarivanja, predugačak električni luk ili prevelik napon luka dovode do oštećenja uz zavar. Kod REL i MIG/MAG zavarivanja, naročito u okomitom položaju, načinom odozd-gore, prejaka struja zavarivanja, previsoki luk ili predugo zadržavanje na stranicama spoja, uzrokuju povećano rastaljivanje stranica ili stvaranje prevelike količine taline koja se skuplja na sredini zavara, na prijelazu ostaje nedostatak metala i ugorine. Najčešće do ugorina dolazi kad je površina uz zavar oksidirana (hrđa, okujina), a pojavljuje se u obliku oštre granične crte s jakim urezom. Zbog toga zonu uz zavar treba brušenjem očistiti do metalnog sjaja. Utjecaj ugorina ovisi o njihovoj dužini i dubini, a također i o pravcu djelovanja i vrsti opterećenja konstrukcije. Kod dinamičkog opterećenja konstrukcije oštri urezi uz zavar vrlo su štetni, djeluju kao inicijalne pokotine iz kojih se može razviti pukotina ili lom zavarenog spoja. Kod statički opterećenih konstrukcija ugorine nisu tako opasne, pa se mogu i dopustiti. Ugorine i drugi zarezi popravljaju se brušenjem. [5]

Slika 18. prikazuje ugorinu snimljenu radiografijom.



Slika 18. Ugorina između zavara i osnovnog materijala [14]

3.5.2 Skupina pogrešaka 502-507 i 512

Ove vrste pogrešaka nastaju zbog nestručne pripreme i nestručnog izvođenja zavarivanja.

Preveliko nadvišenje zavora (502) na sučeljenom spoju je višak nanesenog dodatnog materijala. Najčešće je rezultat premale brzine ili previsokog nanosa predposljednjeg sloja, tako da posljednji sloj nije moguće izvesti s ispravnim nadvišenjem. Najčešće se to događa kod zavarivanja u okomitom položaju REL i MIG/MAG postupak, ali i kod EPP zavarivanja u vodoravnom položaju. [5]

Prevelika ispučenost kutnog zavora (503) najčešće je rezultat želje da se u jednom sloju izvede zahtijevana veća visina kutnog zavora, koja se inače u pravilu treba izvoditi u više slojeva. Kod zavarivanja u okomitom položaju do ispučenja zavora dolazi nepravilnim gibanjem i držanjem pištolja i premalom brzinom zavarivanja, tako da se stvara prevelika količina taline koja se skuplja prema sredini kutnog zavora i stvara ispučenje. Kod MAG zavarivanja ispučenje kutnog zavora obično dolazi od premale jakosti struje ili premalog napona luka. [5]

Preveliko nadvišenje korijena zavora (504) uzrok je preveliki razmak u grlu žlijeba, prejaka struja zavarivanja ili premala brzina zavarivanja kod izvođenja korijena zavora u zavarivanju sučeljenog spoja samo s jedne strane. Izvođenje korijena zavora najsloženiji je postupak kod REL i MIG/MAG zavarivanja. U masovnoj proizvodnji, korijen zavora izvodi se najkvalitetnije i najbrže MAG postupkom punjenom žicom na keramičkoj podlozi. Kod tankih materijala korijen zavora se dobro izvodi MAG postupkom u nagnutom položaju odozgo-dolje, ali kod debljih materijala to nije dopušteno zbog pojave naljepljivanja. [5]

Prokapljina u korijenu zavora (5041) je mjestimično ispučeni višak metala u korijenu zavora koji je izveden samo s jedne strane, npr. u cijevima. Najčešće nastaje kod slabe pripreme spoja, s mjestimično većom zračnosti u grlu žlijeba. Nastaje i nedovoljno stručnim radom ili nepažnjom zavarivača, predugim zaustavljanjem na jednom mjestu pa dolazi do procurivanja taline i stvaranja prokapljine. Prokapljinu obično prate i druge pogreške kao što su plinski uključci, uključci troske pa čak i pukotine. Smatra se pogreškom koja nije dopuštena kod zavora s višim zahtjevima za kvalitetu. [5]

Oštar prijelaz zavora (505) je nadvišenje zavora s naglim, stepenastim prijelazom na osnovni materijal kod sučeljenog zavarenog spoja. Kod MAG zavarivanja uzrok ovoj pogrešci je premali napon električnog luka ili premala jakost struje zavarivanja. Javlja se i kod zavarivanja u okomitom položaju zbog utjecaja sile teže, gdje se talina zavora na donjem dijelu oblikuje sa stepenastim prijelazom na osnovni materijal. [5]

Nesimetričan kutni zavar (512) je oblik kutnog zavora izvan propisanog. Jedna je stranica kutnog zavora dulja od druge, što je nepotrebnii višak materijala zavora. Ona se najčešće pojavljuje kod zavarivanja kutnog zavora u vodoravnom položaju neispravnim nagibom pištolja. Do pogreške najčešće dolazi pokušajem da se kutni zavar veće visine zavari u jednom sloju. U tom slučaju velika količina taline pod utjecajem sile teže razlijeva se više na donju stranu kutnog spoja. Kutne zavare visine veće 5 mm treba zavarivati u više vezanih slojeva. [5]

Preklop zavora (506) kod sučeljenog spoja na prijelazu zavar-osnovni materijal, bez staljivanja s osnovnim materijalom, može biti na licu i korijenu zavora. Najčešće se događa kod zavarivanja gdje se stvara velika kupka taline (EPP). Zavarivanjem pokrovnog sloja talina djelomično prelazi na površinu osnovnog materijala i naliže na nepretaljenu površinu pa može doći do mjestimičnog nespajanja s osnovnim materijalom. Takvo nedovoljno spajanje još više uvjetuju oksidi na površini uz zavar. Radi toga se preporuča obrusiti površinu s obje strane žlijeba. Kod provarivanja korijena zavora na metalnoj podlozi, kad podloga nije dobro priljubljena uz osnovni materijal, može doći do „podlijevanja“ taline. Preklop zavora je ozbiljna pogreška jer predstavlja inicijalnu pukotinu koja utječe na lom u eksploataciji dinamički opterećenog zavarenog spoja. Otklanja se brušenjem. [5]

3.5.3 Posmaknutost u sučeljavanju stijenki i odstupanje od pravca (507 i 508)

Posmaknutost je odstupanje od osi u sučeljavanju dvaju elemenata istih debljina kod zavarivanja. Takvom pogreškom smanjuje se čvrstoća zavarenog spoja i kod dobro izvedenog zavora. Tumači se nepovoljnim rasporedom (lomom) silnica kod opterećenog zavarenog spoja. Ovakva pogreška na unutarnjoj strani cijevi, gdje velikom brzinom prolazi neki medij s vremenom uzrokuje oštećenje erozijom, ali i poremećaj prolaza medija. Posmaknutost u sučeljavanju nastaje nepažnjom radnika koji obavlja pripremu spoja za zavarivanje ili u slučaju pomicanja rubova tijekom zavarivanja. Zavarivač mora primjetiti takvu pogrešku. [5]

3.5.4 Uleknuće površine zavora, prenizak zavar i uvučen korijen zavora

Uleknuće zavora (509) je slijeganje nanesenog dodatnog materijala, nastalo djelovanjem sile teže na talinu u tekućem stanju, nepravilnim usmjeravanjem električnog luka i stvaranjem prevelike količine taline. Najčešće nastaje kod zavarivanja sučeljenog spoja u zidnom položaju nepravilnim usmjeravanjem električnog luka, kojim bi se trebalo pomagati da talina ne sliježe na donju stranu spoja. Nastaje i stvaranjem prevelike količine taline u zidnom položaju, bilo prejakom strujom ili premalom brzinom zavarivanja. Pod utjecajem sile teže talina metala u tekućem stanju sliježe na donju stranu spoja kod zidnog položaja zavarivanja, stvarajući izgled uleknuća u sredini zavora. Slično se događa i kod zavarivanja kutnog zavora u zidnom ili vodoravnom položaju. [5]

Nedovoljna popuna zavora (511) mjestimično ili po cijeloj dužini, najčešće se događa u popuni žlijeba kod EPP zavarivanja kada nije pravilno ocijenjena visina predposljednjeg sloja pa je pokrovni sloj mjestimično ili po cijeloj dužini prenizak, ali previsok da bi se položio još jedan sloj. U ovakvim slučajevima treba sredinu zavora malo zabrusiti, povećati napon i zavariti još jedan sloj. [5]

Uvučen korijen zavora (515) smanjuje debljinu zavora u korijenu. Pogreška nastaje stezanjem metala kod hlađenja ili pod utjecajem sile teže kod nadglavnog zavarivanja. Ovu uvučenost korijena zavora treba razlikovati od neprovarenog korijena. To nije tako opasna pogreška kao

neprovareni korijen zavara. Najčešće nastaje kod zavarivanja cijevi u nadglavnom položaju zbog djelovanja sile teže na talinu zavara. Izbjegava se „guranjem“ taline u razmak kod izvoženja korijenskog zavara. [5]

3.5.5 Nepravilan izgled zavara

Neravnomjerna širina zavara (513) je mjestimično uže pa šire lice zavara na sučeljenom spoju. To je pretežno estetska pogreška kojom se narušava izgled zavara, ali koja upozorava na moguće pogreške u zavaru. Nastaje usljed neravnomjerne brzine zavarivanja ili nejednolikog poprečnog gibanja električnog luka. [5]

Neravnomjerna površina zavara (513) je gruba, jako narebrena površina zavara ružnog izgleda. Nastaje zbog prevelike struje zavarivanja ili previsokog napona električnog luka, što je obično popraćeno s rasprskavanjem kapljica metala oko zavara. Kod MAG zavarivanja izgled površine zavara poboljšava se primjenom mješavine plina ili uporabom punjenih žica. [5]

Neispravno izveden nastavak (517) je mjestimična neravnomjernost na licu ili korijenu zavara u obliku udubljenja ili ispupčenja. Kod prekidanja i ponovnog početka zavarivanja često se čine pogreške u izvođenju nastavka. Osim estetskog nedostatka, na mjestima nastavaka zavar je najslabiji i ta mjesta su potencijalni počeci lomova zavara. Kod MAG zavarivanja, naročito u izvođenju nastavaka u korijenu zavara, preporuča se mjesto nastavka obrusiti. [5]

3.6 Ostale pogreške (Skupina 600)

U ovu skupinu dolaze sve pogreške kod zavarivanja koje se ne mogu svrstati u već navedene. To su uglavnom oštećenja površine materijala pri zavarivanju ili u pripremi za zavarivanje.

Tablica 6. prikazuje ostale pogreške:

Naziv i prikaz	Oznaka	Opis
Ostale pogreške	600	Sve pogreške koje se nemogu svrstati u već navedene skupine
Oštećenja električnim lukom	601	Uspostavljanje, „pikanje“, električnog luka po površini osnovnog materijala
Onečišćenje kapljicama metala	602	Raspršene i priljepljene kapljice metala uz zavar ili po zavaru, nastale kod zavarivanja
Onečišćenje volframom	6021	Priljepljeni komadići volframove elektrode na površini zavara ili osnovnog materijala

Mehanička oštećenja površine osnovnog materijala ili zavora	603 604 605	Oštećenja površine osnovnog materijala, koja mogu nastati: - odbijanjem zavarenih montažnih ili transportnih pomagala - urezima od brušenja - zasjecanjima oštrim alatima
Podbrušenje	606	Smanjenje debljine zavarenog spoja brušenjem

Tablica 6. Ostale pogreške (HRN EN ISO 6520). [5], [6]

3.6.1 Oštećenja električnim lukom (601)

Oštećenja površine materijala električnim lukom nastaju udaranjem vrha elektrode po radnom komadu s ciljem uspostave električnog luka i obično ih čine neupućeni ili nedovoljno školovani zavarivači. Iako naoko beznačajne, to su ipak ozbiljne pogreške koje nisu dopuštene, naročito kad se radi s čelicima visoke čvrstoće. Takva oštećena mjesta su potencijalni počeci pukotina i počeci pojave korozije kod visokolegiranih CrNi čelika. Osim udaranja elektrodom, česta su oštećenja površina od iskrenja nepravilno učvršćene mase, oštećenih vodiča i sl. Dode li do ovakvih oštećenja, kod niskolegiranih čelika se oštećena površina obrusi s blagim prijelazom. Kod visokolegiranih čelika ta mjesta treba obrusiti i polirati. Preporuča se i kemijska obrada pasiviranjem. [5]

3.6.2 Onečišćenje kapljicama metala (602)

Onečišćenje kapljicama metala također se smatra zavarivačkom pogreškom. Kada se događa na nelegiranim čelicima, onda je to prvenstveno estetska pogreška, dok npr. na površini CrNi čelika priljepljene kapljice metala mogu biti uzrokom početne korozije i smatraju se ozbiljnom tehničkom pogreškom. Uzroci povećanog rasprskavanja kapljica metala kod MAG zavarivanja su prevelik napon luka u odnosu na jakost struje zavarivanja i prejaka struja zavarivanja. Za smanjenje rasprskavanja preporuča se uporaba mješavine plina ili punjenih žica, ali treba voditi računa i o uvjetima-parametrima zavarivanja. Rasprskane kapljice uz zavar treba struganjem očistiti. Kod CrNi čelika oštećena mjesta potrebno je polirati. Onečišćenje priljepljenim komadićima volframove elektrode na površini zavora ili osnovnog materijala djeluje isto kao raspršene kapljice metala. [5]

3.6.3 Mehanička oštećenja površine materijala (603, 604, 605, 606)

Mehanička oštećenja površina osnovnog materijala ili zavora, kao zasijecanje oštrim alatima, urezi od brušenja, grubo brušenje poliranih površina, mjestimično otkidanje metala odbijanjem zavarenih pomagala, čišćenje čeličnom četkom površine CrNi čelika, smanjenje debljine zavora podbrušenjem i dr. Smatraju se nedopuštenim greškama. Najčešće i najopasnije pogreške čine

se zavarivanjem raznih pomagala po površini osnovnog materijala, a potom njihovo odbijanje čekićem. U pravilu kod takvih slučajeva dolazi do otvaranja površinskih pukotina. Zbog toga valja izbjegavati zavarivanje raznih pomagala po površini osnovnog materijala. Ukoliko se to nemože izbjeći zavarivanje i skidanje takvih pomagala izvodi se po strugo određenoj tehnologiji. [5]

3.6.4 Podbrušenje

Podbrušenje ili smanjenje debljine zavarenog spoja brušenjem nastaje nepažnjom ili nestručnošću brusача, kada brušenjem poravnava nadvišenje zavara s razinom osnovnog materijala tamo gdje se to zahtijeva. Podbrušenje je smanjenje debljine stijenke materijala i smatra se nedopuštenom pogreškom. [5]

4. Eksperimentalni dio

U eksperimentarnom dijelu rada na postojećim uzorcima zavarenim MAG postupkom zavarivanja provedena su prikladna ispitivanja, detektirane i klasificirane greške te su opisani načini nastanka i mjere sprječavanja pojave grešaka. Materijal svih uzoraka je konstrukcijski čelik.

Slike 19. do 27. prikazuju uzorke zavarene MAG postupkom zavarivanja.

Uzorak 1



Slika 19. Uzorak 1

Greška: šupljine-poroznost

Klasifikacija: prema normi HRN EN ISO 6520 navedena greška spada u skupinu šupljina (skupina 200) i označava se brojem 2017 - površinski otvoreni mjehurići.

Uzroci nastanka: previše nagnut pištolj izaziva iza sebe uvlačenje štetnih plinova poput injektora. Prevelika količina zaštitnog plina uzrokuje prejak strujanje i vrtloženje plina, pa dolazi do povlačenja štetnih plinova iz okoliša. Premala količina plina slabo zaštićuje talinu. Nečista sapnica remeti mirno strujanje plina, stvara vrtloženje, što dodatno slabi zaštitu taline. Nedovoljno zadržavanje pištolja na završnom krateru slabi zaštitu. Dovod plina može biti nemiran i zbog pregrijane sapnice. Poroznosti mogu nastati i uslijed nepravilnog sastava plina ili vlage u plinu. Česti uzroci poroznosti su i neispravan uređaj, npr: propuštanje vode na pištolju, uvlačenje zraka na sustavu za dovod plina ili neispravan regulacijski ventil koji ne propušta dovoljnu količinu plina. Poroznost u zavaru uzrokuje i „puhanje luka“, pregrijana talina, nepravilno izvedeni pripoji, nečista ili nedovoljno priljubljena podloška u korijenu zavara, nečistoće u osnovnom materijalu, osnovni materijal s visokim sadržajem ugljika.

Mjere sprječavanja: čistoća mjesta zavarivanja, odmašćivanje, pravilna tehnika rada, pravilni parametri zavarivanja, ispravna količina i čistoća zaštitnog plina, ispravna oprema.

Uzorci 2 i 3



Slika 20. Uzorak 2



Slika 21. Uzorak 3

Greška: nedovoljni provar korijena

Klasifikacija: prema normi HRN EN ISO 6520 navedena greška spada u skupinu 400 (naljepljivanje i nedovoljni provar) i označava se brojem 402 - nedovoljni provar.

Uzroci nastanka: nepravilna priprema spoja, neispravni parametri zavarivanja, nepravilna tehnika rada. Najčešći uzroci nedovoljnog provara korijena su premala jakost struje i prevelika brzina zavarivanja.

Mjere sprječavanja: kako bi se ispravno provario korijen zavaresnog spoja kod ručnog zavarivanja, priprema spoja mora biti s odgovarajućim razmakom u grlu žlijeba, a parametri zavarivanja dobro namješteni te tehnika rada pravilna.

Uzorak 4



Slika 22. Uzorak 4



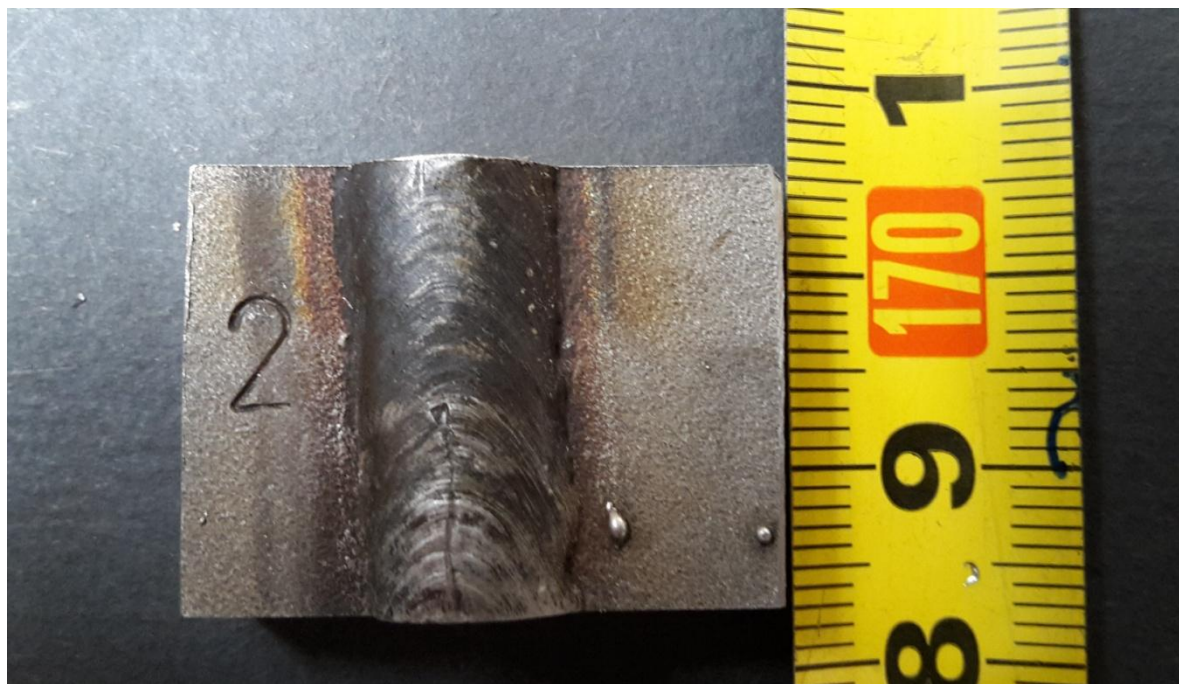
Slika 23. Uzorak 4

Greška: nedovoljna popuna zavora

Klasifikacija: prema normi HRN EN ISO 6520 navedena greška spada u skupinu 500 (pogreške oblika zavora) i označava se brojem 511 - nedovoljno popunjen zavar.

Uzroci nastanka: kriva procjena visine prethodnjeg sloja. Pokrovni sloj je mjestimično prenizak, ali i previsok da bi se položio još jedan sloj.

Mjere sprječavanja: pravilno ocijeniti visinu slojeva, zadržati sredinu zavora, povećati jakost struje i zavariti još jedan sloj.

Uzorak 5

Slika 24. Uzorak 5

Greška: onečišćenje kapljicama metala

Klasifikacija: prema normi HRN EN ISO 6520 navedena greška spada u skupinu 600 (ostale pogreške) i označava se brojem 602 - onečišćenje kapljicama metala.

Uzroci nastanka: prevelik napon u odnosu na jakost struje, prejaka struja zavarivanja, nepravilna tehnika rada, odnosno prevelika visina električnog luka.

Mjere sprječavanja: smanjiti jakost struje i/ili napon.

Uzorak 6

Slika 25. Uzorak 6

Greška: preveliko nadvišenje zavora

Klasifikacija: prema normi HRN EN ISO 6520 navedena greška spada u skupinu 500 (odstupanje od oblika zavora) i označava se brojem 502- preveliko nadvišenje zavora.

Uzroci nastanka: premala brzina zavarivanja uzrokuje previsok nanos materijala

Mjere sprječavanja: povećati brzinu zavarivanja

Uzorci 7 i 8



Slika 26. Uzorak 7



Slika 27. Uzorak 8

Greška: pukotina

Klasifikacija: prema normi HRN EN ISO 6520 navedena greška spada u skupinu 100 (pukotine) i označava se brojem 1011- uzdužna pukotina u zavaru.

Uzroci nastanka: rezultat loše geometrije zavora, odnosno nedovoljne jakosti struje, koja je rezultirala nedovoljnim protaljivanjem.

Mjere sprječavanja: povećati jakost struje za optimalno protaljivanje između prolaza.

5. Zaključak

Pogreške kod zavarenih spojeva javljaju se kao posljedica korištenja loše opreme, neodgovarajuće tehnologije zavarivanja, pogrešno odabranih parametara zavarivanja, loše pripreme spoja i loše tehnike rada. Nije ih moguće potpuno ukloniti, ali je moguće minimizirati njihovu pojavu u zavarenim spojevima. U radu je obrađena norma HRN EN ISO 6520 koja klasificira pogreške u 6 skupina. Kod nižih zahtjeva za kvalitetu dopušteno je do neke mjere prisutstvo određenih grešaka, ali kod viših zahtjeva nema mjesta pogreškama, jer to može prouzrokovati havariju i velike štete, kako materijalne, tako i ljudske. Kod MAG postupka zavarivanja najčešće greške koje se javljaju su poroznost, nedovoljna penetracija i naljepljivanje i u pravilu su nedopuštene. U eksperimentalnom dijelu rada na postojećim uzorcima zavarenim MAG postupkom zavarivanja vizualnom metodom detektirane su, klasificirane i opisane greške te su predloženi načini njihovog sprječavanja. Moguće je zaključiti da je znanje o procesu zavarivanja i o samim pogreškama ključan faktor za njihovo minimiziranje i sprječavanje, za postizanje zahtijevane kvalitete konstrukcije, a time i za smanjenje ili potpuno otklanjanje nepotrebnih financijskih i vremenskih troškova popravaka zavarenih spojeva.

6. Literatura

- [1] K. Weman: "Welding processes handbook" Cambridge 2003.
- [2] Kralj S., Andrić Š.: Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka, Sveučilište u Zagrebu – Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1992.
- [3] Gas metal arc welding- Chapter 4
<http://mediamouseink.com/pearsonhoffman/PDFs/HoffmanChapter4.pdf>
- [4] ASM handbook vol 6, „Welding brazing and soldering“, ASM international, 1993.
- [5] I. Juraga, K. Ljubić, M. Živičić: „Pogreške u zavarenim spojevima“, Zagreb 2007.
- [6] Norma EN ISO 6520-1 „Classification of geometric imperfections in metallic materials“ 2007.
- [7] http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-B4BF9CA6-04A1B222/fronius_international/hs.xsl/79_4638_ENG_HTML.htm
- [8] <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/defects-solidification-cracking-044/>
- [9] <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/material-faqs/faq-what-is-hot-cracking-solidification-cracking/>
- [10] http://www.wilhelmsen.com/services/maritime/companies/buss/BUSS_Pressroom/Documents/Hydrogen%20cracking.pdf
- [11] <http://www.esabna.com/us/en/education/blog/porosity-problems-with-5086-5356-alloys.cfm>
- [12] <http://www.weldpedia.com/2014/08/10-causes-of-weld-porosity-and-their.html>
- [13] <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/manufacturing-of-welded-joints-with-realistic-defects/>
- [14] <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/TechCalibrations/RadiographInterp.htm>